

33544/A

LETTRES

SUR LA CHIMIE.

—

Corbeil, imprimerie de Crété.

LETTRES

SUR

LA CHIMIE

considérée dans ses applications

A L'INDUSTRIE, A LA PHYSIOLOGIE ET A L'AGRICULTURE,

PAR

M. JUSTUS LIEBIG,

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE GIESSEN, ETC., ETC.;

NOUVELLE ÉDITION FRANÇAISE PUBLIÉE

PAR M. CHARLES GERHARDT,

Professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, etc.

PARIS,

VICTOR MASSON,
LIBRAIRE DES SOCIÉTÉS SAVANTES,
près le Ministère de l'Instruction publique,
Place de l'École de Médecine, 1.

CHARPENTIER,
ÉDITEUR,
Rue de Lille, 17.

1847

311223

WELLCOME HISTORICAL MEDICAL LIBRARY

AVANT-PROPOS.

Il serait impossible, même à l'observateur le plus attentif, de comprendre notre époque, soit dans sa forme matérielle, soit dans son état intellectuel, s'il ne connaissait pas les liens cachés qui rattachent entre elles les découvertes de l'esprit humain. Cette connaissance est un besoin pour l'homme instruit, car elle renferme la première et la plus importante condition du développement et des progrès de sa vie intellectuelle. Quel avantage pour lui, quand il sait se rendre compte des causes ou des forces qui ont déterminé des résultats si nombreux et si féconds! Ce n'est, en effet, que par l'étude des faits déjà acquis qu'il parvient à s'éclairer sur le présent et à lire avec assurance dans l'avenir, c'est en se familiarisant avec ces faits qu'il peut lui-même prendre part

au mouvement de son époque, et s'expliquer tout ce qui, dans les phénomènes, lui paraissait un mystère ou l'effet du hasard ; alors seulement il saisit l'enchaînement naturel et nécessaire qui existe dans les tendances nouvelles, dans les progrès de l'esprit. S'emparant à son tour des richesses intellectuelles de son époque, il acquiert ainsi l'avantage de les faire tourner à son profit, au gré de sa volonté et selon ses propres besoins, de contribuer à l'accroissement de ces bienfaits, de les propager, de les faire fructifier pour d'autres.

C'est à ce point de vue que sont écrites ces *Lettres sur la chimie*. Elles ont pour but de diriger l'attention des hommes éclairés sur l'état et sur la portée de la chimie, sur les problèmes dont les chimistes cherchent la solution, sur la part qu'elle a prise aux progrès de l'industrie, de la mécanique, de la physique, de l'agriculture, de la physiologie.

Elles s'adressent particulièrement aux personnes instruites qui ne reculent pas devant les questions les plus importantes et les plus difficiles de la science, quand ces questions sont fécondes en résultats pratiques. Elles ont aussi été écrites pour cette classe de lecteurs qui ne trouve point de charme dans la forme d'exposition dite populaire, où l'on des-

cend souvent jusqu'à des explications plates et triviales. L'étude de la nature a cela de propre, que ses résultats sont tout aussi clairs, tout aussi compréhensibles pour le simple bon sens de l'homme du monde que pour le savant lui-même : le seul avantage du savant, c'est de connaître les moyens par lesquels on est arrivé aux résultats; mais, dans la plupart des cas, la connaissance des moyens n'est pas nécessaire pour faire trouver les applications.

La forme d'exposition que j'ai choisie, n'a pas besoin, ce me semble, d'être justifiée. J'ai pensé que c'était celle qui convenait le mieux à moi-même et à la feuille périodique dans laquelle ces lettres ont paru pour la première fois.

Quiconque suit avec quelque attention le mouvement intellectuel de l'Allemagne, reconnaîtra que la *Gazette universelle d'Augsbourg* est une œuvre précieuse pour les besoins de l'époque, comme organe de la civilisation, sous le rapport politique, social et scientifique, tant par le nombre de ses lecteurs, que par l'étendue de son cadre, par la profondeur et la supériorité de ses articles dans toutes les branches des connaissances humaines, par le goût sévère et le tact exquis des hommes auxquels sa rédaction est confiée. Voilà les raisons qui m'ont fait répondre

aux invitations réitérées et pressantes du propriétaire de ce journal; voilà pourquoi j'ai essayé d'y donner accès à la chimie, afin de la répandre davantage dans la société. Les *Lettres sur la chimie* (les douze premières) ont eu deux éditions en anglais (sous le titre de *Familiar Letters on Chemistry*, 2e édition. London, Taylor and Walton, 1844). Cette traduction anglaise, qui a été répandue en Amérique, sous forme de journal, au prix de quatre centimes la feuille, a été tirée à plus de 60,000 exemplaires. En Italie, où l'on s'intéresse si peu aux littératures étrangères, si ce n'est peut-être à la littérature française, il en a paru une excellente traduction, qui va jusqu'à la 21e lettre insérée dans le supplément de la *Gazette universelle* du 6 mai 1844 (*Lettere chimiche di Giusto Liebig, trad. dal dottore G. D. Bruni. Torino, stamperia reale,* 1844). Tout cela me donne l'espoir que, dans mon pays, dont le suffrage m'est le plus cher, on voudra bien ne pas méconnaître le but de ces lettres, et m'approuver de les réunir aujourd'hui dans une édition complète.

Giessen, juillet 1844.

JUSTUS LIEBIG.

LETTRES
SUR LA CHIMIE

CONSIDÉRÉE DANS SES APPLICATIONS

A L'INDUSTRIE, A LA PHYSIOLOGIE

ET A L'AGRICULTURE.

PREMIÈRE LETTRE.

Objet de la chimie.—Influence des sciences physiques sur le commerce et sur l'industrie. — Conséquences de la découverte de l'oxygène. — Méthodes d'investigation des astronomes et des physiciens. — Méthode des chimistes. — Analyse chimique. — Chimie appliquée. — Influence de la chimie dans les recherches sur les phénomènes de la vie.

Il est si souvent question de chimie dans les ouvrages modernes, qu'on me saura peut-être gré de présenter une appréciation plus précise de son influence sur les arts et sur l'industrie, de ses rapports avec l'agriculture, la physiologie et la médecine.

Puissé-je réussir, dans cette première lettre, à convaincre le lecteur que la chimie, comme science, offre un des moyens les plus puissants pour élever l'esprit ; que

son étude est utile, non-seulement parce qu'elle favorise les intérêts matériels de l'homme, mais aussi parce qu'elle nous éclaire sur les merveilles de la création qui nous entoure, et auxquelles notre existence, notre développement, se trouvent intimement liés.

Les questions relatives aux causes des phénomènes de la nature, et aux changements qui surviennent chaque jour autour de nous, sont si conformes aux besoins de l'esprit humain que les sciences qui en donnent une solution satisfaisante exercent sur les progrès de l'homme bien plus d'influence que toutes les autres.

La chimie, comme science de la nature, est étroitement liée à la physique, et celle-ci a d'intimes rapports avec l'astronomie, et avec les sciences mathématiques. L'observation directe de la nature a été la base de toutes les sciences naturelles, elles ne se sont constituées que peu à peu, par la coordination successive des faits acquis par l'expérience.

Les rapports de la lumière avec la terre, les révolutions des astres, l'alternance du jour et de la nuit, les saisons, les différences de température dans les diverses zones de la terre, voilà les faits qui ont conduit à l'astronomie.

A mesure que l'intelligence de l'homme se perfectionne, quelle que soit la source où il puise ses connaissances, ses facultés grandissent et se fortifient dans toutes les directions. La connaissance exacte des rapports qui relient certains phénomènes, l'acquisition d'une nouvelle vérité, enrichissent l'homme d'un sens nouveau qui le rend apte à démêler une infinité d'autres phénomènes, auparavant invisibles et cachés.

La physique a pris naissance avec l'astronomie, et arrivée à un certain degré de développement, elle a produit elle-même la chimie scientifique ; à son tour, la science des lois de la vie, la physiologie, attend son développement de la chimie organique.

N'oublions pas toutefois qu'on a déterminé la durée de l'année, expliqué le retour des saisons et calculé les éclipses de la lune, sans connaître les lois de la pesanteur ; qu'on a construit des moulins et des pompes, sans connaître la pression de l'air ; qu'on a su fabriquer le verre et la porcelaine, teindre les étoffes et séparer les métaux, d'après les seules données de la routine et sans le secours de véritables principes scientifiques. La géométrie elle-même n'a été, dans l'origine, qu'un recueil d'expériences ; la plupart de ses principes ont été trouvés par la pratique avant qu'on sût les démontrer. Ainsi, c'est à l'expérience qu'on doit la proposition que le carré de l'hypothénuse est égal à la somme des deux autres côtés ; ce théorème fut donc une véritable découverte, l'auteur offrit une hécatombe quand il en eut trouvé la *démonstration*.

Sous quel aspect bien différent se présentent aujourd'hui les découvertes du savant, depuis qu'inspiré par le souffle d'une vraie philosophie, de quelque nom que nous l'appelions, physique, chimie, mathématiques, il s'est mis à étudier les phénomènes de la nature pour en déterminer les causes et les lois [1].

Un seul génie, le sublime Newton, a fait jaillir bien plus de lumière que dix siècles, avant lui, n'en avaient répandu. La connaissance exacte du mouvement des globes célestes, de la chute des corps, est devenue la

source de découvertes sans nombre; la navigation, le commerce, l'industrie, que dis-je, chacun de nous, lui doit des avantages intellectuels et matériels.

Il serait impossible, sans consulter l'histoire de la physique, de se faire une idée de l'influence que l'étude des sciences de la nature a exercée sur la culture de l'esprit. Dans nos écoles, les enfants s'imprègnent de bonne heure de vérités dont la conquête a coûté des travaux immenses et d'indicibles efforts. Ils sourient aujourd'hui quand ils nous entendent raconter qu'un naturaliste italien a écrit une longue dissertation, pour prouver que la neige qui tombe sur l'Etna, est la même substance que celle qui recouvre les Alpes suisses; qu'il a multiplié les raisonnements pour démontrer que toutes deux, en fondant, donnent la même eau, douée des mêmes propriétés. Et pourtant son argumentation ne fut pas déjà si évidente pour tout le monde, car quelle différence n'y a-t-il pas entre la température de la Sicile et celle de la Suisse? Mais personne alors ne se faisait une idée de la distribution de la chaleur à la surface de la terre.

Lorsqu'un enfant recouvre d'une simple feuille de papier un verre plein d'eau, et le renverse ensuite sans qu'une seule goutte de liquide s'en échappe, il n'étonne plus, de nos jours, qu'un autre enfant comme lui. C'est pourtant la même expérience qui a rendu immortel le monde Torricelli. C'est une variante de celle par laquelle, à Ratisbonne, le bourgmestre de Magdebourg frappa l'empereur et l'empire d'un étonnement muet. Nos enfants ont sur les phénomènes de la nature des notions et des idées plus justes que Platon. Ils riraient des erreurs commises par Pline.

La philosophie et les études classiques nous initient à la connaissance du monde intellectuel ; elles enseignent l'art de penser et d'observer ; elles démontrent la nature spirituelle de l'homme. La lecture de la vie des grands hommes et des hommes de bien de tous les temps, nous apprend à gouverner les passions, à modérer les mouvements du cœur. Ces exemples des siècles passés nous font comprendre notre époque, car la nature morale de l'homme reste toujours la même ; ils nous apprennent à revêtir de la forme la plus belle, les maximes de la religion, de la vérité, de la justice, et à les graver ainsi plus profondément dans les cœurs. Mais l'histoire et la philosophie n'ont pas pû empêcher qu'on ne brûlât des hommes comme sorciers, qu'on n'exigeât du grand Keppler, pour sauver sa mère du bûcher dressé à Tubingue, de démontrer qu'elle manquait des conditions d'une véritable sorcière.

Ainsi que la graine se détache du fruit mûr, la chimie se sépara de la physique, il y a soixante ans, pour former une science à part. Avec Cavendish et Priestley, une ère nouvelle commença pour elle. La médecine, la pharmacie, les arts industriels, avaient préparé le sol où la graine devait se développer et fructifier.

Le point de départ fut, comme on sait, une théorie, en apparence très-simple, de la combustion ; on connaît les résultats qu'elle a produits, les bienfaits qu'elle a répandus. Depuis la découverte de l'*oxygène*, le monde civilisé a éprouvé toute une révolution dans ses mœurs et dans ses habitudes : c'est qu'à cette découverte se lient nos connaissances sur la composition de l'atmosphère, de l'eau, de l'écorce solide de la terre,

sur le rôle de l'oxygène dans la vie des plantes et des animaux. Elle a imprimé une direction extrêmement avantageuse à l'exploitation des métaux, à une foule d'industries et de professions, et la prospérité matérielle des nations s'en est considérablement accrue.

Chaque découverte de la chimie est suivie de semblables effets; chaque application de ses lois apporte de nouveaux bienfaits à l'État, en augmente la puissance et le bien-être.

La chimie offre plus d'un point de ressemblance avec les mathématiques. Celles-ci nous apprennent à mesurer les champs, à bâtir les maisons, à soulever les fardeaux ; semblable à l'arithmétique, la chimie est un instrument qui, par un maniement habile, donne des résultats dont les avantages frappent tous les yeux. D'un autre côté, les mathématiques rendent l'homme capable de raisonner juste d'après des règles prescrites ; elles lui enseignent une langue particulière, qui lui permet d'exprimer une série de conséquences, de la manière la plus simple, par des lignes et par des signes intelligibles à tous ceux qui connaissent cette langue ; elles lui apprennent à discerner certains rapports, auparavant obscurs ou inconnus.

Pour le mécanicien, le physicien, l'astronome, les mathématiques sont un instrument tout à fait indispensable ; il faut que l'usage leur en soit assez familier pour qu'il se réduise pour eux à un simple effort de mémoire. Toutefois ce n'est pas l'instrument qui fait l'œuvre, mais l'intelligence, et l'on conviendra que, sans le jugement, la pénétration et l'esprit d'observation, les mathématiques seraient parfaitement inutiles.

Figurez-vous un homme qui, favorisé d'une grande mémoire, se serait familiarisé, de la manière la plus parfaite, avec toutes les propositions des mathématiques; qui aurait acquis une habileté extrême dans l'usage de cet instrument, sans être en état pourtant de se poser un problème. Si vous lui en soumettez un, si vous lui fournissez, en même temps, toutes les conditions de la solution, il réussira, au moyen des opérations dont il connaît la pratique, à donner pour réponse une formule composée de certains signes ; mais il n'en comprendra pas le sens, par la raison qu'il lui manque certaines conditions pour juger de la vérité de cette formule. Jusque-là il ne sera donc qu'un simple calculateur; mais dès qu'il en sera venu à pouvoir lui-même se poser un problème et s'assurer de la vérité de ses calculs, il sera devenu un véritable investigateur de la nature; car, où puiserait-il ses problèmes, si ce n'est dans la nature, dans les phénomènes de la vie.

Vous l'appellerez mécanicien, astronome ou physicien si, partant de l'observation pour découvrir les causes des phénomènes, il sait non-seulement traduire en formules les résultats de ses recherches, les exprimer dans la langue du mathématicien, mais encore en faire des applications et transformer ses formules en phénomènes, pour en vérifier l'exactitude.

Indépendamment des mathématiques, dont ils se servent comme instrument, l'astronome, le physicien et le mécanicien, doivent donc encore posséder l'art de faire des observations, d'interpréter les phénomènes, de remplacer une formule par un phénomène, par une machine, par un appareil, et de démontrer

ainsi une série de corollaires par une suite d'expériences.

Un physicien se propose une question à résoudre, il veut savoir les conditions d'un phénomène, la cause de ses changements. Si la question a été posée d'une manière exacte, si tous les facteurs ont été introduits dans le calcul, les formules mathématiques le conduiront à une expression simple de la quantité inconnue, du rapport cherché. Cette expression, traduite en langage ordinaire, explique la liaison des phénomènes observés, des expériences exécutées; l'expression est *vraie*, si elle permet au physicien de produire une série d'autres phénomènes comme conséquences de cette expression.

On comprend aisément comment les mathématiques se lient aux investigations de la nature; mais on conçoit aussi qu'elles ne suffisent pas, et que, pour faire des découvertes utiles en physique, en astronomie ou en mécanique, il faut en outre un grand esprit d'observation et d'invention. C'est d'ailleurs une erreur, très-commune, que d'attribuer toutes les découvertes aux mathématiques; en cela, comme en mille autres choses, on confond l'effet avec la cause. Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'on attribue aux machines à vapeur ce qui appartient au feu, au charbon ou à l'intelligence de l'homme. Les découvertes en mathématiques exigent la même intelligence, la même pénétration, la même force de pensée que la solution d'autres problèmes difficiles; ce sont autant de perfectionnements apportés à un instrument propre à une infinité d'usages. Mais les mathématiques ne font, par elles seules, aucune découverte dans la nature; elles n'opèrent jamais que

sur les résultats fournis, soit par l'observation directe, soit par le travail de l'intelligence.

Sur la même ligne que la physique mathématique se trouve placée la physique expérimentale, qui découvre les faits, et les prépare pour le physicien-mathématicien. La tâche de la physique expérimentale consiste donc à exprimer, par des phénomènes, les lois, les vérités trouvées, et à expliquer par des expériences les formules mathématiques, afin de les rendre accessibles aux sens.

Dans ses réponses aux questions qui lui sont adressées, la *chimie* procède de la même manière que la physique expérimentale ; elle enseigne les moyens de reconnaître les différents corps dont se compose l'écorce de la terre, et ceux qui constituent l'organisme des animaux et des plantes.

La chimie étudie les propriétés des corps, les changements que leur fait éprouver le contact d'autres corps. Toutes les observations réunies forment une langue; chaque propriété, chaque changement constaté dans un corps, est un mot de cette langue.

Comparés entre eux, les corps présentent certaines analogies ou certaines dissemblances de forme, de propriétés, aussi variées que les mots de la langue la plus riche, aussi diverses que les impressions de nos sens.

Non-seulement les corps diffèrent par leur nature, mais leurs propriétés se modifient aussi selon les divers arrangements qu'ils subissent. Dans la langue particulière que les corps nous parlent, on retrouve, comme dans toute autre langue, des articles, des cas, toutes les inflexions des substantifs et des verbes; on y rencontre même un grand nombre de synonymes.

Les mêmes quantités des mêmes éléments produisent, selon leur arrangement, un poison, un médicament, un aliment, un corps volatil ou un corps fixe. Nous connaissons la signification de leurs propriétés, c'est-à-dire des mots parlés par la nature, et pour lire ces mots, nous utilisons l'alphabet que nous avons appris.

Il existe en Savoie, une source minérale qui guérit les goîtres : j'adresse à cette source certaines questions, et si je groupe ensemble toutes les lettres des réponses, elles me disent que la source renferme de l'iode. Un homme, après avoir pris une certaine nourriture, meurt avec tous les indices de l'empoisonnement ; le langage des phénomènes, familier au chimiste, lui annonce que cet homme est mort de l'arsenic ou du sublimé corrosif.

Le chimiste interroge un minéral et le minéral lui répond qu'il est soufre, fer, chrôme, silicium, aluminium, ou, s'il est combiné de quelque manière, qu'il contient un certain mot de la langue des phénomènes chimiques ; voilà de l'*analyse chimique.*

Cette langue des phénomènes conduit le chimiste à des combinaisons d'où dérivent une infinité d'applications utiles et d'améliorations dans les fabriques, dans les arts, dans la préparation des médicaments, dans les procédés de la métallurgie. Il a déchiffré le mot outre-mer ; il s'agit alors pour lui de traduire ce mot par un phénomène, et de reproduire l'outre-mer avec toutes ses propriétés; voilà de la *chimie appliquée.*

Il n'est presque pas de question d'art, d'industrie, de physiologie, qui n'ait pu être résolue par la chimie scientifique, pourvu que la question fût posée d'une

manière nette et précise ; les questions ne sont restées sans réponse que dans les cas où celui qui les faisait, n'avait lui-même aucune idée claire de son sujet.

L'objet le plus élevé de la chimie, c'est d'approfondir les causes des phénomènes de la nature, c'est d'en constater les variations, et de découvrir les éléments communs à des phénomènes différents. Le chimiste cherche donc les lois qui régissent ces phénomènes, et, groupant ensemble tous les faits que les sens lui font percevoir, il arrive enfin à les exprimer d'une manière abstraite, à les relier entre eux par une théorie.

Cependant, pour savoir lire dans un livre écrit en caractères inconnus, pour le comprendre, pour saisir la vérité d'une théorie, pour soumettre à notre volonté les phénomènes qu'elle représente, ainsi que les forces qui ont provoqué ces phénomènes, il est indispensable d'apprendre d'abord l'alphabet, de se familiariser avec l'usage des signes de la langue, d'acquérir, par l'exercice, l'habitude de les manier ; il faut, en un mot, commencer par étudier les règles sur lesquelles se fondent les combinaisons des signes.

De même que la mécanique et la physique transcendantes supposent une grande habileté dans l'*analyse mathématique*, ainsi le chimiste pour savoir interroger la nature, doit s'être intimement familiarisé avec l'*analyse chimique ;* toutes ses déductions, tous ses résultats, il les exprime par des expériences, par des phénomènes. Chacune de ses expériences est une pensée rendue sensible par un phénomène ; ses preuves et ses réfutations se traduisent par des expériences qui ne sont elles-mêmes que l'interprétation des phénomènes qu'il a su provoquer par sa volonté.

Il fut un temps où la chimie n'était, comme l'astronomie, la physique et les mathématiques, qu'un art d'expérimenter, appuyé sur la routine et composé de recettes. Mais, depuis qu'on connaît les causes et les lois des phénomènes, cet art a perdu son importance. Sans doute, il a fallu un long et pénible apprentissage pour trouver les manipulations, les méthodes, et toutes les précautions, en usage aujourd'hui dans les arts chimiques, dans les opérations de l'industrie et de la pharmacie ; mais les singuliers attributs des anciens chimistes, leurs fourneaux, leurs alambics, ne sont plus que des curiosités; on n'a plus besoin de tous ces appareils compliqués, depuis qu'on sait les raisons qui les avaient rendus nécessaires, et aujourd'hui, le succès d'une expérience, d'une opération, dépend beaucoup moins de la dextérité manuelle que des connaissances acquises ; l'insuccès tient toujours au défaut de savoir, et ce n'est que par d'habiles combinaisons intellectuelles que se font les découvertes.

Dans les cours, on nous enseigne l'alphabet, le laboratoire nous en apprend l'usage, et l'élève y acquiert de l'habileté à lire le langage des phénomènes ; il s'y familiarise avec les règles des combinaisons et s'y exerce à les appliquer. Dès que les lettres et les signes se sont transformés pour lui en un langage intellectuel, leur signification reste gravée dans son esprit d'une manière ineffaçable, et alors il peut, avec leur aide, explorer des pays inconnus, s'y instruire et faire des découvertes partout où ces signes ont cours. La langue qu'il parle, lui fait comprendre les mœurs, les coutumes, les besoins des contrées qu'il parcourt ; sans elle, il peut, il est vrai, franchir les limites de ces régions,

mais alors il s'expose à une foule de mécomptes et d'erreurs ; il demande du pain et on lui donne un caillou.

La médecine, la physiologie, la géologie, la physique expérimentale, voilà les pays inconnus dont il aspire à connaître les lois, l'organisation et les formes de gouvernement. S'il ignore la langue des phénomènes, s'il ne sait pas l'art de les interpréter, il n'en saisira que les formes et les qualités extérieures.

Ne voyez-vous pas maintenant ce qui manque à la physiologie? La conviction intime de nos grands physiologistes ne se trahit-elle pas à chaque parole qu'ils prononcent, à chaque expérience qu'ils exécutent? N'est-ce pas que la connaissance des formes extérieures ne leur suffit plus, et qu'ils sont pénétrés de l'importance, de la nécessité d'une étude plus profonde, plus intime, c'est-à-dire d'une étude chimique de l'organisme?... Mais pourront-ils jamais réaliser ce progrès sans connaître notre langue?

Quand d'autres physiologistes, d'une moindre portée, reprochent à la chimie que tous ses résultats leur sont inutiles et sans application fructueuse, c'est assurément bien à tort, car ces physiologistes n'en comprennent ni le sens, ni l'usage ; c'est comme s'ils voulaient lire un livre allemand, écrit en caractères hébraïques dont ils ne sauraient pas la valeur. Et d'ailleurs, la physiologie n'est-elle pas tout autant dédaignée que la chimie, par beaucoup de médecins qui font à la physiologie précisément les mêmes reproches, tout aussi peu fondés?

Le médecin qui a appris la médecine, non comme une science, mais comme un art purement pratique, ne reconnaît aucun principe : il n'y a pour lui que des

règles empiriques, il n'admet que ce qui, dans tel ou tel cas particulier, a produit un bon ou un mauvais effet. L'art empirique ne s'inquiète pas du pourquoi, il ne se préoccupe pas des causes, et, cependant, de quel point de vue le médecin ne jugerait-il pas l'état pathologique de l'économie humaine, s'il en connaissait suffisamment l'état normal, s'il avait des idées nettes sur la marche de la digestion, de l'assimilation, des sécrétions; quelles modifications profondes n'en recevrait pas le traitement des maladies! Quand on voit, chez le médecin, cette absence de notions exactes sur les forces, sur les causes et leurs effets, cette ignorance des phénomènes de la nature, ce manque d'une instruction réelle en physique et en chimie, faut-il s'étonner que des hommes, d'ailleurs intelligents, aient pu prôner les idées les plus absurdes, que la doctrine d'Hahnemann ait pu naître en Allemagne et faire des prosélytes dans tous les pays? Le seul bon sens ne garantit de la superstition pas même les nations, mais le développement de l'esprit et des connaissances fait perdre à l'enfant la peur des fantômes.

Les hommes, comme ceux dont nous parlons, ne tireront jamais le moindre profit des découvertes de la chimie et de la physique; ils n'en feront jamais l'application la plus légère, car il leur manque cet esprit philosophique qui porte à scruter les mystères de la nature; ils n'ont jamais appris à interpréter le langage des phénomènes. Ceux qu'un pareil esprit dirige, sont contrariés que la vérité soit une chose si simple, et qu'en dépit de tous leurs efforts ils ne parviennent pas à en tirer le moindre parti; aussi ne craignent-ils pas d'imaginer des théories impossibles, et de faire du

mot *force vitale* quelque chose de merveilleux qui leur sert à expliquer tous les phénomènes qu'ils ne comprennent pas ; c'est donc, par quelque chose qui n'a pas le moindre sens pour eux, qu'ils expliquent ce qui passe leur intelligence !

Si les médecins veulent approfondir la nature de la force vitale, s'ils veulent en comprendre les effets, ils ont besoin de suivre exactement la route qui leur a été tracée, avec tant de succès, par la physique et la chimie.

Certes, de tous les états de la matière, il n'y en avait pas de plus caché, de plus obscur, pour l'œil comme pour l'intelligence, que ce lui qu'on désigne sous le nom d'*état électrique*. Dix siècles s'étaient écoulés depuis le développement de la physique, avant que l'esprit de l'homme pressentît cette force prodigieuse qui participe à toutes les réactions de la nature inorganique, à toutes les fonctions vitales des plantes et des animaux. Ce n'est que par des séries de travaux infatigables et après avoir surmonté des difficultés sans nombre, que le physicien est enfin parvenu à acquérir une connaissance exacte de cette force de la nature, et à la soumettre à sa volonté. Il sait maintenant que l'électricité, la chaleur, la lumière, le magnétisme, naissent d'une mère commune ; par l'électricité, il a su maîtriser les forces et les causes, et se les rendre dociles ; avec son secours, il trace la route à la foudre, il extrait les métaux précieux des mines les plus pauvres ; par elle encore, il a pu pénétrer la véritable nature des parties constituantes du globe terrestre ; par elle enfin, il fait marcher des navires et multiplie les productions des arts.

Une force n'est pas visible, elle ne peut pas se saisir

des mains ; si l'on veut en connaître la nature et la manière d'être, il faut l'étudier dans ses manifestations, dans ses effets. La simple observation ne suffit pas pour cela, car l'erreur est toujours à la surface, et il faut aller jusqu'au fond pour trouver la vérité. Commettre une erreur, c'est envisager un phénomène sous un faux point de vue ; on se met à l'abri de l'erreur, si l'on éprouve bien ses connaissances avant de les appliquer à l'explication cherchée, si l'on a pour but unique la vérité. Il faut donc étudier les conditions dans lesquelles le phénomène a été observé, et les changer dès qu'on les a constatées ; l'influence de ce changement devient alors le sujet de nouvelles études, et de cette manière les premières observations se rectifient ou se présentent à l'esprit avec plus de clarté. Jamais il ne faut céder à l'imagination. Le vrai physicien explique et interprète tout à l'aide des faits et des expériences qu'il sait trouver et mettre en évidence ; il laisse parler son sujet ; aucun phénomène, pris séparément, ne s'explique tout seul, mais s'il a été bien observé, bien classé, il devient intelligible par ses relations avec d'autres faits déjà observés. Chaque phénomène a sa raison, chaque effet a sa cause.

L'opinion, d'après laquelle la force créatrice de la nature serait toute-puissante et pourrait produire, sans semence, mais avec des roches désagrégées ou avec des débris végétaux en putréfaction, les plantes les plus variées et même des animaux ; l'horreur du vide, l'esprit recteur, et cette autre hypothèse qui admet la génération du fer et du phosphore dans le corps vivant de l'animal, toutes ces rêveries ne sont que le résultat de l'ignorance, de la paresse, ou de l'incapacité

de remonter à l'origine et aux causes des phénomènes. Une observation isolée n'a pas plus de force de démonstration que mille observations qui seraient sans liaison. Nous n'avons pas le droit de créer des causes imaginaires, lorsqu'il nous arrive d'échouer sur la route, dans le cours de nos recherches. Quand nous voyons des infusoires naître d'un œuf, il nous reste encore à chercher de quelle manière ces infusoires se propagent.

Si nous laissons à l'imagination le soin de nous guider, si nous lui reconnaissons le droit de résoudre les questions, il n'y a plus d'observation possible et la vérité reste cachée. Ce n'est encore là que le moindre mal ; le pire, c'est lorsque l'imagination met à la place de la vérité un monstre opiniâtre, méchant et envieux, lorsqu'elle lui oppose l'erreur qui se met en lutte avec elle et cherche à lui barrer le chemin, à l'anéantir. Il en fut ainsi au temps de Galilée, et aujourd'hui encore ce mal persiste dans les sciences où les opinions passent pour des démonstrations. Combien ne serait-il pas plus avantageux de reconnaître notre imperfection, d'avouer l'insuffisance de nos ressources actuelles ! Après nous, mille autres viendraient alors éprouver leurs forces et leur courage, et tôt ou tard la vérité finirait par se découvrir. Quand une fois l'esprit se contente d'une explication, son activité se repose, que l'explication soit fausse ou vraie. L'imagination crée toujours des erreurs, et rien n'est plus nuisible aux progrès de la science qu'une vieille erreur, car il est extrêmement difficile de la réfuter une fois qu'elle a pris cours.

Assurément, les physiologistes n'ont pas procédé

d'une manière rationnelle quand ils ont voulu expliquer les fonctions de l'économie, la nutrition, les sécrétions, avant de connaître les aliments et les sources d'où ils proviennent; avant d'avoir soumis à des recherches positives l'albumine, le caséum, le sang, la bile, la substance cérébrale, etc. Comment ces noms pouvaient-ils leur rien apprendre quand ils n'en savaient que les lettres, quand ils ignoraient les propriétés, la manière d'être, les relations réciproques de tous les corps auxquels ces noms s'appliquent?

Les phénomènes de la vie sont déterminés par une force qui n'agit pas à des distances appréciables; on n'en reconnaît l'action qu'après avoir mis l'aliment ou le sang directement en contact avec l'organe propre à manifester ou à modifier ces phénomènes. C'est de la même manière que la force chimique devient évidente; la nature n'offre pas deux causes de mouvement et de transformation ayant plus de rapports entre elles que la force chimique et la force vitale. On sait qu'il y a action chimique toutes les fois qu'on met en contact des corps hétérogènes; ce serait donc se mettre en contradiction avec toutes les règles déduites de l'étude de la nature, que de supposer qu'une des forces les plus puissantes ne prenne aucune part aux fonctions de l'organisme vivant, bien que réunissant toutes les conditions où elle manifeste son activité. Aucune raison ne nous autorise à considérer la force chimique comme subordonnée à la force vitale, au point que ses effets seraient inappréciables à l'observation; nous voyons, au contraire, la force chimique de l'oxygène, par exemple, dans une activité complète et incessante.

Ainsi, l'urée, l'allantoïne, l'acide des fourmis et des scarabées aquatiques, l'acide de l'oseille, l'huile essentielle de la racine de valériane, l'huile des fleurs d'ulmaire, l'essence de *Gaulteria procumbens*, toutes ces substances sont produites pendant les fonctions de la vie; mais est-ce à dire qu'elles résultent de l'action de la force vitale?... Nous pouvons les produire toutes par l'emploi seul de la force chimique : ainsi, avec les excréments des serpents et des oiseaux, le chimiste prépare la substance cristallisable contenue dans la liqueur allantoïque de la vache; avec du sang réduit en charbon, il fait de l'urée; avec de la sciure de bois, il fabrique du sucre, ainsi que l'acide des fourmis ou de l'oseille; avec l'écorce du saule, il sait produire l'huile volatile des fleurs d'ulmaire ou de gaulteria; avec la pomme de terre, il obtient l'huile volatile de la valériane.

Voilà assez d'expériences pour qu'il soit permis d'espérer qu'un jour il produira aussi, avec toutes leurs propriétés, la quinine et la morphine, les combinaisons qui constituent le blanc d'œuf et la fibrine des muscles. Certes, il y a des effets qui appartiennent en propre à la force vitale : jamais le chimiste ne sera capable de créer un œil, un cheveu, une feuille. Mais, d'un autre côté, il est positif aussi que la formation de l'acide prussique et de l'huile essentielle dans les amandes amères, celle de l'huile volatile et de la sinapine dans la moutarde, celle du sucre dans les graines en germination, il est certain, dis-je, que tous ces phénomènes sont les résultats d'une décomposition chimique. Quand on voit un estomac de veau mort, au moyen d'un peu d'acide hydrochlorique, agir sur la viande et

sur l'albumine coagulée de la même manière qu'un estomac vivant, c'est-à-dire dissoudre ces substances et les digérer, tous ces faits autorisent à conclure qu'en interrogeant la nature par la méthode expérimentale, nous arriverons un jour à des idées précises sur les métamorphoses des aliments dans l'organisme et sur les effets des médicaments.

Sans une étude sérieuse de la chimie et de la physique, les physiologistes et les médecins chercheront en vain la solution des problèmes les plus importants de la vie, les moyens de corriger ou de prévenir les perturbations de l'économie. Sans la connaissance des forces chimiques, on ne saurait approfondir la nature de la force vitale, et le médecin instruit ne pourra utiliser les résultats de la chimie que lorsqu'il saura poser d'une manière correcte ses questions à cette science.

L'industrie doit à la chimie des bienfaits immenses; la minéralogie est devenue une science nouvelle depuis qu'elle s'applique à connaître la composition des minéraux et la manière d'être de leurs parties constituantes; la géologie ne saurait faire des progrès, si elle continue, comme l'avait fait la minéralogie, de ne pas tenir compte de la nature et de la composition chimique des différentes roches. La chimie est la base de l'agriculture; sans la connaissance des parties constituantes du sol et du mode de nutrition des végétaux, il ne faut pas songer à établir jamais l'agriculture sur une base scientifique.

L'homme d'État, dépourvu de connaissances chimiques, reste étranger à ce qui constitue la vie propre de son pays, à ce qui peut contribuer au dévelop-

pement de ses ressources ; sans ces connaissances, son coup d'œil manque d'assurance, son esprit n'apprécie que d'une manière incomplète ce qui est vraiment utile ou préjudiciable à son pays, à l'humanité. Les intérêts matériels les plus importants, les questions relatives à la production la plus avantageuse, à l'alimentation de l'homme et des animaux, à la conservation et à l'amélioration de la santé publique, toutes ces questions se lient de la manière la plus intime à l'étude et à la propagation des sciences naturelles, et surtout de la chimie. L'homme ignorant les lois et les phénomènes de la nature ne saurait se faire une idée de la bonté et de la sagesse infinies du Créateur ; tout ce que peut concevoir l'imagination la plus riche, l'esprit le plus élevé, n'est en comparaison de la réalité, qu'une bulle de savon vide et chatoyante.

Le besoin de notre époque s'est déjà manifesté pratiquement par l'organisation d'écoles particulières, où l'enseignement des sciences physiques occupe le premier rang. Il en sortira une génération plus forte, plus sensée, plus intelligente, une génération capable de choses vraiment grandes et fécondes ; elle créera à l'État des ressources nouvelles, elle en augmentera la richesse et la puissance, et l'homme, allégé ainsi dans le fardeau de l'existence, ne succombera plus aux fatigues, supportera plus aisément les soucis de ce monde, et pourra diriger son âme plus épurée vers la contemplation des choses suprêmes.

DEUXIÈME LETTRE.

Opinion erronée des anciens sur les phénomènes de la nature. — Idées exactes de ces phénomènes. — Elles viennent à l'appui des vérités du christianisme. — Considérations sur les phénomènes de la nature. — Connaissance de la nature, source de la connaissance de Dieu.

L'histoire de l'homme est le miroir où se reflète le développement de son esprit; ses actes nous signalent ses défauts et ses vices, ses vertus, ses bonnes qualités et ses imperfections; l'étude de la nature nous révèle l'histoire de la toute-puissance, de la perfection, de la sagesse impénétrable d'un Être infini, sublime dans ses œuvres et dans ses actes. Sans la connaissance de l'histoire des œuvres divines, le perfectionnement de l'intelligence humaine devient impossible; sans elle, l'âme immortelle de l'homme ne saurait arriver à la conscience des a dignité et du rang qu'elle occupe dans l'univers.

La religion des Grecs et des Romains, le paganisme, doit son origine à une intuition incomplète et même fausse des phénomènes de la nature, à l'ignorance des causes immédiates de ces phénomènes; leurs prières s'adressaient aux forces brutes. Toute superstition ramène au paganisme. Ce qui donne précisément à l'é-

tude de la nature une si haute portée, c'est qu'elle devient l'intermédiaire du christianisme, en démontrant l'origine divine des vérités chrétiennes; elles ne nous ont pas été révélées par les moyens d'observation dont l'homme dispose, mais c'est grâce à une illumination d'en haut que nous avons une conception nette de l'Être infini, supérieur à tous les mondes.

L'espace où se meuvent les systèmes du monde, est sans limites; qu'y aurait-il au delà? Le nombre des mondes est infini, on ne saurait l'évaluer; la lumière parcourt 80,000 lieues par seconde; il faut bien des secondes pour faire une année! Il y a des étoiles fixes dont la lumière met des milliards d'années pour arriver jusqu'à notre œil; il existe des animaux invisibles à l'œil nu et qui cependant sont munis de dents, d'organes de mouvement, d'organes de digestion; il y en a d'autres, mille fois plus petits et qui ont encore les mêmes appareils, qui se nourrissent comme les animaux les plus grands, qui se propagent par des œufs quelques cents fois plus petits que leur propre corps! L'imperfection de nos propres organes de vision nous empêche seule de percevoir des créatures encore un milliard de fois plus petites.

Quelle infinité de degrés et de différences nous présentent les états et les propriétés des corps qui composent notre globe terrestre! Il en est de vingt fois plus pesants qu'un volume égal d'eau; d'autres sont dix mille fois plus légers, et leurs particules les plus ténues ne sont plus perceptibles à l'aide des meilleurs microscopes; et voyez la lumière, cette merveilleuse messagère qui chaque jour vient nous annoncer la persistance d'un nombre infini d'autres mondes, cette

manifestation d'un Être extraterrestre qui n'obéit plus à la pesanteur, et qui cependant devient perceptible à nos sens par un nombre immense d'effets, cette même lumière solaire, nous la pouvons scinder en rayons particuliers, non lumineux et capables néanmoins de provoquer les réactions les plus puissantes dans le règne organique, nous pouvons en séparer des rayons de chaleur aussi variés dans leurs effets que les couleurs elles-mêmes. Mais nulle part on n'observe ni commencement ni fin ; la nature n'a aucune limite pour l'esprit de l'homme, ni au-dessus ni au-dessous de lui, et dans cet espace incommensurable, dans cet infini qu'il saisit à peine, il ne tombe pas une goutte d'eau, il ne bouge pas un grain de poussière, sans y être forcé.

En dehors de lui-même, l'homme ne rencontre nulle part une volonté qui ait conscience de soi ; il voit tout enchaîné par les lois éternelles et immuables de la nature, et ce n'est qu'en lui-même qu'il reconnaît quelque chose de capable de dominer ces lois, une volonté qui ne leur est pas soumise, une intelligence, qui ne reçoit des lois que d'elle-même.

La simple connaissance empirique de la nature nous pousse puissamment à cette conviction que ce quelque chose n'est pas la dernière limite au delà de laquelle il n'y aurait rien de pareil, rien de plus parfait. Bien au contraire, nous-mêmes, nous n'en concevons que les degrés les plus infimes, et, comme toutes les vérités qui s'acquièrent par induction dans l'étude de la nature, cette conviction vient confirmer en nous l'idée de l'existence d'un Être suprême et infini ; les sens ne suffisent plus pour le connaître, ce

n'est que par le perfectionnement de nos facultés intellectuelles que nous parvenons à saisir sa grandeur, sa sublimité.

La connaissance de la nature, voilà le moyen de perfectionnement.

L'histoire de la philosophie nous apprend que les hommes les plus sages, que les plus profonds penseurs de l'antiquité de tous les temps, ont considéré l'étude des phénomènes de la nature, et la connaissance de ses lois, comme un moyen indispensable de culture intellectuelle; la physique faisait alors partie de la philosophie. Par la science, l'homme soumet à sa volonté les forces de la nature; l'empirisme au contraire, le met sous leur dépendance. L'empirique n'a pour ainsi dire, plus conscience de lui-même; il se rabaisse au niveau d'un être inférieur, et ne fait tourner qu'une minime partie de sa force au profit de la société; les effets dirigent sa volonté, tandis que s'il en comprenait la connexion intime, c'est sa volonté qui pourrait dominer les effets.

On ne trouvera pas cette introduction hors de propos, si j'essaye, dans la lettre suivante, d'expliquer une des lois les plus remarquables de la nature, et qui sert de base à la chimie moderne.

Lorsqu'un petit fragment d'os, une dent, devient pour l'anatomiste tout un livre, où il peut lire l'histoire d'un être appartenant à un monde qui a péri, avec l'indication de la taille et de la forme de cet animal, du milieu où il a vécu et respiré, de son genre de nourriture, de ses organes de locomotion, nous pourrions regarder ces détails comme le jeu d'une imagination féconde, si ce fragment d'os, si cette dent, devait sa

forme et sa contexture à un caprice du hasard. Mais tout cela est possible à l'anatomiste, parce que chaque partie de l'organisme doit sa forme à des lois définies, et que, cette forme une fois reconnue, il parvient à l'aide des lois à reconstruire dans sa pensée l'animal tout entier. Il ne paraîtra pas moins merveilleux à beaucoup de gens, que le chimiste puisse, par la connaissance seule de la proportion d'après laquelle un corps s'unit à un autre, trouver et déterminer les proportions dans lesquelles le premier corps se combine avec tous les autres corps, et le nombre en est infini. La découverte de ces lois, qui régissent tous les phénomènes chimiques, auxquelles sont subordonnés tous les changements de nombre et d'étendue, dans la nature vivante, comme dans le monde minéral, cette découverte est, sans contredit, l'acquisition la plus importante, la plus féconde de notre siècle.

TROISIÈME LETTRE.

Forces chimiques, affinité.—Combinaisons chimiques.—Division des éléments. — Métaux et corps non métalliques. — Action de la chaleur sur les combinaisons chimiques ; elle détruit la cohésion. — Dissolution, le plus puissant moyen d'analyse.

Pour se faire une idée nette de la régularité, de l'ordre merveilleux dans lequel s'effectuent les combinaisons chimiques, il faut se rappeler ce que le chimiste entend par combinaison et par décomposition.

Le fer qui se rouille, les couleurs qui pâlissent à l'air, l'extraction des métaux de leurs minerais, la fabrication de cette multitude d'objets créés par le commerce et l'industrie, la préparation des médicaments, en un mot toutes les formes, tous les phénomènes nouveaux que des corps différents manifestent à nos sens quand ils sont mis en contact, reposent, à peu d'exceptions près, sur une combinaison ou sur une décomposition. Ces formes, ces phénomènes nouveaux, sont provoqués par les forces chimiques, qui se distinguent de toutes les autres forces, en ce que leur effet ne devient sensible que par le contact immédiat des corps ; elles cessent d'agir dès qu'il existe entre les corps une distance appréciable. La pesanteur, l'électricité, le magnétisme, la chaleur, exercent, il est vrai, de l'influence sur les réactions chimi-

ques, mais comme ces forces agissent aussi à distance et déterminent ainsi des mouvements, des déplacements, l'étude de leur nature et des lois qui les régissent, appartient plutôt à la physique proprement dite.

Le fer se rouille à l'air, le soufre et le mercure se convertissent en cinabre : c'est donc la force chimique qui agit entre les particules du fer et l'un des principes de l'air, entre les particules du soufre et du mercure ; c'est elle qui cause les propriétés de ces corps, qui provoque la formation d'un corps doué de propriétés nouvelles, qui produit une *combinaison chimique*.

Si l'on chauffe le cinabre avec du fer, on en retire de nouveau du mercure ; si l'on calcine la rouille avec du charbon, on en régénère du fer métallique ; on *décompose* conséquemment le cinabre par le fer, la rouille par le charbon ; la cause de ces phénomènes, c'est toujours la force chimique. L'effet produit repose sur la formation d'une combinaison : le fer qui a séparé le mercure, se combine avec le soufre ; on avait d'abord du sulfure de mercure et l'on obtient du sulfure de fer ; de même, le charbon qui sépare le fer métallique de la rouille, ce charbon entre en combinaison avec une partie constituante de l'air que le fer avait fixée en se rouillant.

La décomposition chimique de cette infinité de corps composés, la séparation d'un de leurs éléments, provient toujours de ce qu'un nouveau corps entre en combinaison avec leurs autres éléments ; ces corps composés n'éprouveraient évidemment aucun changement dans leurs propriétés si la force chimique n'était pas en activité dans leurs particules. On a donné à la force chimique le nom d'affinité, mais ce mot est impropre

et n'exprime pas ce qu'il veut dire. Quand deux corps, mis en contact, manifestent la faculté de se combiner, on dit qu'ils ont de l'affinité; cependant cela ne signifie pas que ces corps aient entre eux des rapports de parenté.

Si l'on entassait pêle-mêle sur une table les cinquante-six corps simples, un enfant pourrait, d'après leurs propriétés physiques ou extérieures, les ranger en deux grandes classes : l'une serait composée des corps doués d'un aspect métallique, l'autre comprendrait ceux qui ne présentent pas cet aspect. La première classe renferme les *métaux*, la seconde, les corps *non métalliques.*

Ces deux grandes classes peuvent encore, suivant les analogies constatées dans d'autres propriétés, se subdiviser en groupes moins nombreux, où l'on réunit tous les corps qui ont le plus de ressemblance.

Ce que nous venons de dire des corps simples, s'applique également aux corps composés; ceux-ci présentent, comme les premiers, une similitude ou une différence dans leurs propriétés, et si on les coordonne par familles, si l'on met ensemble les corps qui tirent leur origine du même père ou de la même mère, on remarque que les membres d'une même famille n'ont qu'une tendance faible, souvent même nulle, à former de nouvelles combinaisons; ces corps d'une même famille sont parents sous le rapport des propriétés, mais ils n'ont point d'attraction ou d'affinité les uns pour les autres. Au contraire, les membres de deux familles fort distantes quant aux propriétés, s'attirent toujours avec le plus d'énergie.

Les combinaisons entre deux membres d'une même famille portent, souvent à un plus haut degré, les qualités

et les défauts de la famille à laquelle ils appartiennent; mais l'alliance de deux corps issus de souches tout à fait opposées donne toujours naissance à un corps nouveau, dans lequel on ne peut plus reconnaître les corps qui l'ont reproduit. Ainsi le fer et le mercure, appartenant tous les deux à la classe des métaux, sont bien plus rapprochés, sous le rapport généalogique, qu'un métal et un corps non métallique, que le fer et le soufre, ou le mercure et le soufre. Une combinaison entre deux métaux trahit aussitôt son origine, mais qui soupçonnerait, dans le cinabre, l'existence d'un métal liquide et argentin, et celle du soufre jaune et inflammable?

Il y a donc aussi dans les corps composés différents degrés d'affinité, c'est-à-dire que leurs particules ont des tendances différentes à se combiner entre elles. C'est sur cette différence que reposent toutes les décompositions.

J'ai déjà fait remarquer que la manifestation de l'affinité chimique exige que les particules des corps se touchent, ou du moins ne se trouvent qu'à une distance inappréciable. Tout le monde connaît l'action de la chaleur sur les corps: un clou de fer, solidement enfoncé dans le mur, devient peu à peu vacillant et finit par se détacher; c'est qu'en été le fer est plus échauffé qu'en hiver, la chaleur de l'été dilate le fer, et celui-ci presse alors contre le bois et la pierre; en hiver, le fer se contracte bien plus que la pierre et le bois.

La dilatation par la chaleur suppose donc que les molécules des corps s'écartent entre elles, la contraction, qu'elles se rapprochent. Or, comme une certaine proximité dans la position des molécules est indispen-

sable à la manifestation de l'affinité chimique, il est aisé de voir que, par l'effet seul de la chaleur, une foule de combinaisons doivent se décomposer, se résoudre dans leurs éléments, et cela toutes les fois que l'écartement des molécules, opéré par la chaleur, sera plus considérable que la sphère de leur attraction chimique. Cette dernière condition entraîne toujours la séparation des parties constituantes; si la chaleur diminue, les molécules se rapprochent, et, à un certain point de rapprochement une nouvelle combinaison peut s'effectuer. On peut donc fort bien concevoir que des corps qui se trouvent dans le même espace, mais portés à cette température élevée que nous ne pouvons plus mesurer, puissent se trouver en présence sans se combiner, tout en ayant l'un pour l'autre la plus forte affinité ; c'est qu'alors la chaleur détruit l'affinité, ou du moins met obstacle à ce qu'elle se manifeste. Ainsi, sans doute, à l'époque où notre globe avait une température excessivement élevée, ses parties constituantes étaient disposées dans un tout autre ordre ; il est même possible qu'elles flottèrent d'abord pêle-mêle, et que l'ordre ne s'établit dans ce chaos, pour former les minéraux et les terrains actuels, que par l'abaissement graduel de la température.

Qu'on se représente, en effet, tous les éléments du globe plongés, par l'effet d'une forte chaleur, dans l'état où se trouvent l'oxygène et l'hydrogène à la température habituelle de l'air : la terre formerait alors une sphère énorme, composée uniquement de gaz, qui se mélangeraient tous uniformément sans se combiner, absolument comme le feraient l'oxygène et l'hydrogène, malgré leur grande affinité. A 350°, le mer-

cure se combine avec l'oxygène de l'air pour former une poupre rouge et cristalline; à 400°, cette poudre se décompose en gaz oxygène et en vapeur de mercure.

Quand on fait fondre, dans un creuset, un mélange de fer et de plomb avec du soufre, le fer se sépare du plomb et se combine avec le soufre ; tant qu'il reste encore une parcelle de fer dans le plomb, pas un atome de soufre ne s'unit à ce dernier, mais tout le soufre se porte sur le fer, et ce n'est qu'après la combinaison de la totalité du fer avec le soufre que le plomb se combine avec l'excédant de ce dernier. Les deux métaux ont donc de l'affinité pour le soufre, mais celle du fer surpasse celle du plomb; voilà ce qui explique l'opération qui se pratique en grand, quand on fait fondre avec du fer la galène ou sulfure de plomb naturel, de manière à mettre en liberté le plomb métallique ; c'est donc le fer qui se combine alors avec le soufre pour lequel il a plus d'affinité.

Un phénomène semblable s'accomplit quand le fer décompose le cinabre, à la température rouge; le fer s'unit au soufre et déplace le mercure. Mais, dans ce dernier cas, l'affinité du fer pour le soufre n'est pas la seule cause de la décomposition. Personne n'a encore vu le mercure à l'état incandescent, comme par exemple, le fer dans la forge, et tandis que le fer, quelque chauffé qu'il soit, ne s'échappe pas feu, le mercure, dans les mêmes circonstances, se réduit à une vapeur invisible; les molécules du mercure acquièrent donc, par la chaleur, la propriété de prendre l'état gazeux. Or, cette faculté de se gazéifier repose sur la tendance que présentent les molécules des corps, à se repousser, à s'écarter; et cette tendance persiste aussi dans leurs

combinaisons. Le mercure peut se vaporiser déjà à la température ordinaire : ainsi, une goutte de mercure, exposée à l'air, se réduit peu à peu en vapeur; elle y met plus de temps qu'une goutte d'eau, toutefois elle finit aussi par disparaître entièrement. Cette vaporisation s'accélère extraordinairement par la chaleur. Le cinabre ne se vaporise pas dans ces circonstances, ce qui provient évidemment de ce que la tendance du mercure à prendre l'état gazeux et à se séparer du soufre, éprouve une certaine résistance. Cette résistance, représentée par l'affinité du soufre, n'est pas surmontée à la température ordinaire; mais, si l'on chauffe le mercure au point où le mercure devient gazeux, cela affaiblit non-seulement l'affinité entre le soufre et le mercure, mais exalte aussi la tendance du mercure à se détacher des molécules de soufre. Si, alors une affinité, même faible, vient à l'appui de la chaleur, par exemple l'affinité du fer pour le soufre, elle entraîne le soufre à se séparer du mercure; la séparation ne s'effectuerait pas sans le concours de ces différentes circonstances. On voit donc que la tendance des corps à prendre l'état gazeux à certaines températures, joue un rôle important dans les combinaisons et dans les décompositions du chimiste; cette tendance modifie, exalte ou affaiblit les manifestations de l'affinité.

Une autre cause qui influe sur les effets de l'affinité chimique, c'est la tendance que possèdent les molécules des corps à conserver leur cohésion, en présence des causes qui tendent à la détruire. On peut fondre par la chaleur le sucre, le sel marin, rendre ainsi leurs molécules mobiles dans tous les sens, détruire, anéan-

tir l'état solide. Le même effet s'obtient avec l'eau : quand le sucre et le sel marin fondent dans ce liquide, ce n'est pas la chaleur, mais l'affinité chimique de l'eau qui détruit la cohésion de ces corps.

Un fragment d'os calciné est insoluble dans l'eau et dans les liquides alcalins. C'est alors la cohésion de la nature osseuse qui est plus forte que l'affinité du liquide; mais le contraire a lieu dans une foule de liquides acides, dans le vinaigre, par exemple, qui la dissolvent. Comme les deux parties constituantes de l'os, l'acide phosphorique et la chaux, sont solubles dans le liquide acide, il est évident qu'on n'observera aucun changement; mais si l'on met l'acide phosphorique et la chaux dans l'eau, dans une liqueur alcaline, ou dans tout autre liquide qui ne s'oppose pas à ce que ces deux corps prennent, en s'unissant, l'état solide, on verra se séparer une poudre blanche de phosphate de chaux; il se forme alors, comme on dit, un *précipité*.

Cette inégale solubilité des corps dans les différents liquides est, pour le chimiste, un puissant moyen d'analyse. Tous les minéraux, sans exception, peuvent être dissous dans un liquide approprié; en modifiant la nature de ce liquide par l'addition d'autres matières, le chimiste change la solubilité des parties constituantes du minéral, et il réussit ainsi à les séparer successivement. Voilà une première méthode d'analyse ; il en est une autre qui consiste à ajouter successivement, à la solution d'un minéral contenant cinq, six parties différentes, ou même davantage, des substances de nature diverse, capables de former une combinaison insoluble avec l'une ou l'autre des parties consti-

tuantes du minéral. Ces opérations s'exécutent dans un certain ordre, en quelque sorte comme si les parties constituantes se trouvaient renfermées dans différents compartiments, pour lesquels il fallût autant de clefs particulières.

QUATRIÈME LETTRE.

Poids et mesures des éléments qui se combinent. — Proportions chimiques. — Symboles chimiques. — Nombres proportionnels, équivalents. — Equivalent d'un oxyde métallique, équivalent d'un acide. — Formules chimiques.

La question qui se présente tout d'abord dans les décompositions et les combinaisons dont nous avons parlé dans la dernière lettre, c'est de savoir combien il faut d'un corps pour en déplacer un autre, combien, par exemple, il faut de fer pour chasser le mercure du cinabre et le remplacer dans cette combinaison sulfurée.

Cette question a été résolue de la manière la plus complète.

Si, dans l'exemple cité, on prend trop peu de fer, une partie du cinabre reste sans se décomposer; si l'on prend trop de fer, il en reste un excès sans être combiné avec le soufre.

Toutes ces décompositions exigent donc toujours des quantités bien définies, des quantités fixes pour tous les cas, d'où il suit évidemment que les corps doivent se combiner en proportions invariables, car toute décomposition est, comme nous l'avons vu, le résultat d'une combinaison.

Pour décomposer 117 parties de cinabre, il faut 27 parties de fer, et l'on obtient 101 parties de mercure et 43 parties de sulfure de fer. Par conséquent, 16 parties de soufre étaient d'abord combinées avec 101 parties de mercure, qui ont été éliminées et remplacées par 27 parties de fer. Il est clair, d'après cela, que 27 parties de fer se sont combinées avec 16 parties de soufre.

Or, on a constaté que les proportions de fer et de mercure qui se remplacent réciproquement dans la combinaison sulfurée, ou d'après lesquelles ces métaux s'unissent au soufre, restent constamment les mêmes dans tous les cas où l'un de ces corps est déplacé et remplacé par l'autre. Ainsi, lorsqu'on élimine, par le fer, le mercure de ses autres combinaisons, par exemple de sa combinaison avec l'oxygène, le chlore, l'iode ou le brome, et qu'on remplace le mercure par du fer, on trouve toujours qu'il faut 101 parties de mercure pour 27 parties de fer. L'expérience démontre, en outre, que toutes les fois que 101 parties de mercure s'unissent à un autre corps dont le poids serait *a*, ce même poids *a* de ce nouveau corps se combine aussi avec 27 parties de fer.

Tous ces faits sont le résultat direct de l'expérience auquel les chimistes sont arrivés à l'aide de la balance, et, remarquez-le bien, les proportions fixes que nous venons de signaler, se présentent non-seulement pour les quelques corps cités, mais encore pour tous les corps possibles. Ainsi, par exemple,

16 p. de soufre s'unissent à 8 p. d'oxygène
et à. . . . . 1 p. d'hydrogène,

et, dans toutes les combinaisons où l'hydrogène est remplacé par de l'oxygène, ou l'oxygène par l'hydrogène, on voit se fixer pour chaque poids d'oxygène, représenté par 8, un poids d'hydrogène égal à 1, et pour chaque poids d'hydrogène égal à 1, un poids d'oxygène égal à 8. Non-seulement les proportions relatives d'hydrogène et d'oxygène restent toujours les mêmes dans les autres combinaisons, mais encore celles du soufre; les proportions dans lesquelles ce dernier se combine avec l'hydrogène et avec l'oxygène sont invariables; de telle sorte que si l'on remplace, dans une combinaison sulfurée, le soufre par de l'oxygène ou par de l'hydrogène, on voit se fixer, à la place du soufre, la moitié de son poids d'oxygène, et le seizième de son poids d'hydrogène.

1 p. d'hydrogène se combine avec 16 p. de soufre,
et ces 16 p. de soufre peuvent
se remplacer par. . . . . 8 p. d'oxygène.

Le résultat de ce remplacement est la combinaison de 8 parties d'oxygène avec 1 partie d'hydrogène pour former 9 parties d'eau; ou bien,

8 p. d'oxygène se combinent avec 16 p. de soufre,
et ces 16 p. de soufre peuvent
se remplacer par. . . . . 1 p. d'hydrogène.

Ce remplacement a également pour résultat la combinaison de 1 partie d'hydrogène avec 8 parties d'oxygène.

Il est aisé de voir que, si l'on connaît les proportions d'après lesquelles un corps se combine avec deux, trois, quatre ou plusieurs autres corps (ils s'unissent

toujours deux à deux), on sait en même temps les proportions dans lesquelles ces différents corps s'unissent entre eux. 16 de soufre s'unissent à 8 d'oxygène, à 1 d'hydrogène, à 101 de mercure, à 27 de fer; mais 8 d'oxygène se combinent aussi avec 101 de mercure, avec 27 de fer pour former l'oxyde de mercure, l'oxyde de fer, etc. Enfin, si l'on connaît les proportions dans lesquelles un corps quelconque se combine avec tous les autres, on sait aussi les quantités d'après lesquelles tous ces corps se combinent entre eux, pourvu qu'ils aient de l'affinité.

Le tableau suivant nécessite à peine une explication :

Oxygène.	O	8	Potassium (kalium). . .	K	39,2
Hydrogène..	H	1	Calcium.	Ca	20,5
Carbone.	C	6	Silicium.	Si	14,8
Soufre.	S	16	Plomb.	Pb	103,8
Azote.	N	14	Cuivre.	Cu	31,8
Phosphore.	P	31,4	Mercure (hydrargyrum).	Hg	101,4

Ces nombres expriment les proportions pondérales d'après lesquelles quelques corps simples, connus de tout le monde, se combinent entre eux, ou, si l'on veut, ce sont les poids d'après lesquels ils se remplacent dans leurs combinaisons.

Il est important de noter que ces proportions ne changent pas même dans les cas où un corps forme avec un second ou un troisième, plus d'une seule combinaison. Ainsi, 14 d'azote s'unissent à 8 d'oxygène pour former ce qu'on a appelé le gaz hilariant; il existe une autre combinaison d'azote et d'oxygène qui est incolore et produit à l'air des vapeurs rouges, elle

renferme, pour 14 d'azote, 16, c'est-à-dire deux fois 8 d'oxygène; une troisième combinaison en renferme 24 ou trois fois 8; une quatrième, 32 ou quatre fois 8; une cinquième, 40 ou cinq fois 8, toujours pour le même poids 14 d'azote. De même, le carbone s'unit à l'oxygène en deux proportions : la première combinaison constitue un gaz inflammable et renferme 6 de carbone pour 8 d'oxygène; l'autre, connue sous le nom d'acide carbonique, contient, pour 6 de carbone, 16 d'oxygène.

Ces proportions fixes et invariables se présentent toutes les fois que les éléments s'unissent entre eux.

L'analyse démontre que le vinaigre ou acide acétique renferme, en 100 parties, 47,06 de carbone, 5,88 d'hydrogène et 47,06 d'oxygène. Sachant combien d'oxygène et d'hydrogène sont combinés avec 47,06 de carbone, il est aisé de calculer, à l'aide de la règle de trois, combien d'hydrogène et d'oxygène y sont unis à 6 de carbone; on trouve, en effet, qu'il y a, pour 6 de carbone, 3/4 d'hydrogène et 6 d'oxygène, c'est-à-dire, en nombres entiers, pour quatre fois 6 ou 24 carbone, quatre fois 3/4 ou 3 d'hydrogène, et trois fois 8 ou 24 d'oxygène. On arriverait encore au même résultat, sachant combien de carbone et d'hydrogène sont combinés, dans l'acide acétique, avec 47,06 d'oxygène, en calculant quelle est la quantité de ces deux éléments rapportée à 8 d'oxygène, c'est-à-dire à un autre nombre invariable, figurant dans le tableau précédent; on trouve ainsi, pour 8 d'oxygène, 1 d'hydrogène et 8 de carbone, et tous ces nombres, pris chacun trois fois, conduisent encore aux rapports trouvés précédemment.

La composition de toutes les combinaisons chimiques, sans exception, peut s'exprimer de la même manière par ces nombres fixes, qui portent le nom de *nombres proportionnels*. On les appelle aussi *équivalents*, eu égard à leurs remplacements réciproques, car ils expriment en effet les quantités d'après lesquelles ils entrent en combinaison, les quantités qui produisent des effets équivalents. Pour déterminer une certaine réaction chimique, il faut, je suppose, un poids de 8 oxygène ; s'il s'agit d'employer au même but du soufre à la place de l'oxygène, il faut toujours un poids de 16 soufre ; ces poids ont donc des valeurs chimiques équivalentes.

La connaissance de la loi qui se manifeste dans ces rapports invariables, a conduit les chimistes à l'emploi de certains signes qui leur permet d'exprimer, sous une forme extrêmement simple, la composition des corps, le remplacement d'un élément par un autre, et, en général, la manière dont on conçoit l'ordre ou le groupement des éléments dans les différentes combinaisons. On est convenu de désigner les équivalents par les initiales des noms latins des éléments, de telle manière que O, par exemple, signifie, non pas oxygène tout court, mais ni plus ni moins que 8 parties pondérales d'oxygène ; de même, S veut dire 16 parties de soufre, H 1 partie d'hydrogène, etc.

Il est aisé de saisir les nombreux avantages de ces signes. Il serait impossible à la mémoire la plus heureuse de retenir la composition centésimale de quelques centaines de combinaisons, mais, à l'aide de ces signes ou formules, rien n'est plus facile. Ainsi, par exemple, la composition de l'eau qui, en 100 parties,

est de 88,889 d'oxygène et 11,111 d'hydrogène, s'exprime par H O, la quantité d'eau double par 2 H O, la quantité triple par 3 H O. L'oxyde de carbone s'écrit C O, l'acide carbonique C O^2, l'acide acétique C^4 H^3 O^3, la combinaison de l'acide acétique avec l'eau C^4 H^3 O^3 + H O, l'éther C^4 H^5 O, l'alcool C^4 H^5 O + H O.

Les corps composés offrent plusieurs groupes qui possèdent des propriétés analogues, des caractères chimiques semblables, et qui sont capables de se remplacer dans les combinaisons. Les propriétés du groupe des *acides* sont connues de tout le monde; il n'en est peut-être pas de même du groupe des *bases*. Ce dernier comprend des corps qui ont la propriété de détruire, de neutraliser les propriétés acides du premier groupe. La combinaison d'un acide avec une base porte le nom de *sel*, n'importe sa saveur. Une base peut en remplacer une autre dans un sel, un acide peut être substitué à un autre acide.

Lorsqu'on examine dans quelles proportions se remplacent les oxydes métalliques appartenant à la catégorie des bases, on reconnaît qu'il en faut des poids différents suivant la base qu'on emploie : pour séparer 10 parties d'une base, on a besoin de 15 parties d'une autre base, de 25 parties d'une troisième, etc. Or, l'expérience démontre aussi que si les 10 parties de la première base renferment 5 parties d'oxygène, la même quantité d'oxygène, ni plus ni moins, est contenue dans les 15 parties de la seconde base, dans les 25 parties de la troisième, etc. La quantité d'oxygène contenue dans les bases métalliques qui se remplacent, est donc invariable, seulement les métaux qui se trou-

vent combinés avec cet oxygène se remplacent en raison de leurs équivalents : pour 39,2 de potassium qui sortent d'une combinaison , il y rentre 101,4 de mercure.

Les chimistes sont convenus d'appeler *équivalent d'un oxyde métallique*, toute quantité d'oxyde contenant 8 p. d'oxygène, c'est-à-dire un équivalent d'oxygène, quel que soit le nombre équivalent de métal uni à cet oxygène. Lors donc qu'on connaît la quantité d'acide nécessaire pour former avec un équivalent de base un sel neutre, cette quantité d'acide restera toujours la même pour les autres bases, attendu que celles-ci renferment précisément la même proportion d'oxygène que la première et que leur remplacement réciproque se règle uniquement d'après cette quantité d'oxygène. Une nouvelle convention a fait appeler *équivalent d'un acide,* la quantité d'acide qui sature un équivalent de base.

Ces notions une fois acquises, il est aisé de comprendre pourquoi les chimistes expriment la composition de l'acide acétique par la formule $C^4 H^3 O^3$, de préférence à la formule $C^2 H^{1/2} O^{1/2}$ et à toute autre. Si l'on additionne les nombres exprimés par les symboles précédents (C^4 équivaut à 4 fois 6 ou 24 carbone, H^3 à 3 fois 1 ou 3 hydrogène, O^3 à 3 fois 8 ou 24 oxygène), on a pour somme le nombre 51. Ces cinquante-une parties expriment la quantité d'acide acétique qui se combine avec l'équivalent d'un oxyde quelconque. La formule des acides se rapporte ordinairement à un équivalent de base, celle des bases à un équivalent d'acide, et, en général, la formule de toute autre combinaison exprime la proportion pondérale d'après la-

quelle les éléments de la combinaison s'unissent à l'équivalent déjà connu et déterminé d'un autre corps; toutefois, dans beaucoup de cas, les formules n'expriment que les rapports mutuels entre deux ou plusieurs corps.

Ces formules deviennent d'une haute utilité quand il s'agit de comparer entre elles les différentes combinaisons chimiques, pour mettre en lumière les nombreuses transformations, les remplacements, les décompositions.

Supposons, par exemple, que j'aie fait l'analyse de l'acide acétique. Pour voir si les nombres donnés par l'expérience sont exacts, j'exprime en nombres proportionnels les quantités trouvées de carbone, d'hydrogène et de carbone; or, les nombres proportionnels ayant été déterminés avec les soins les plus minutieux, j'aurai d'autant plus de confiance en mon analyse que mes résultats s'accorderont davantage avec ces nombres; si mes résultats s'en éloignent, je dois soupçonner une erreur dans mon opération, et il faut donc la recommencer. On le voit, les nombres proportionnels offrent à l'analyse chimique un contrôle sévère; ils avertissent toujours qu'une erreur a été commise ou que la substance soumise à l'analyse n'avait pas été suffisamment pure.

Tout le monde pourra traduire les formules que voici :

$C^{14} H^{6} O^{2}$ Huile d'amandes amères.
$C^{14} H^{6} O^{4}$ Acide benzoïque.

L'huile d'amandes amères absorbe l'oxygène de l'air et se convertit en acide benzoïque. L'inspection des for-

mules précédentes suffit pour faire comprendre le rapport qui existe entre ces deux corps, et, si on les traduit en poids, elles indiquent exactement les quantités d'après lesquelles ils se transforment l'un dans l'autre.

Voici encore d'autres formules :

$C^4 H^5 O$ Éther.

$C^4 \genfrac{}{}{0pt}{}{H^3}{O^2} O$ Acide acétique.

L'éther, contenu dans l'alcool, se convertit en acide acétique en absorbant de l'oxygène. Les formules précédentes font aisément saisir que cette transformation consiste en ce que, dans l'éther, 2 équivalents d'hydrogène s'éliminent pour être remplacés par 2 équivalents d'oxygène.

Tout cela est d'une grande simplicité, et, maintenant, on comprendra sans peine, comme nous l'avons déjà fait pressentir au commencement de cette lettre, que lorsqu'on vient à découvrir un nouveau métal ou un nouveau corps non métallique, il suffit de déterminer la quantité de métal qui se combine avec 8 d'oxygène, ou la quantité de corps non métallique s'unissant à 39,2 de potassium, pour savoir les proportions d'après lesquelles ces nouveaux corps se combineraient avec tous les corps déjà connus. C'est par ce moyen qu'on a fixé l'équivalent du lanthane, et du didyme, deux nouveaux métaux récemment découverts dans la cérite ; c'est par ce moyen aussi que l'on a établi l'équivalent du brome, trouvé, il y a vingt ans, dans les eaux de la mer.

L'imagination n'est pour rien dans les faits que je viens d'exposer, chaque nombre est le résultat d'une foule d'analyses, exécutées avec soin. Sans doute, ces

analyses ne sont pas venues d'elles-mêmes se coordonner et se formuler en loi. C'est à la sagacité d'un Allemand, à Richter, que nous devons la découverte de cette loi importante; son nom est impérissable comme la science elle-même.

CINQUIÈME LETTRE.

Cause des proportions chimiques. — Théorie atomique.

Le pourquoi, la cause de la fixité des proportions chimiques, a dû, on le conçoit, préoccuper l'esprit du chimiste philosophe. Il doit nécessairement exister une cause qui empêche les corps de se combiner dans d'autres proportions, qui s'oppose d'une manière si tranchée à ce qu'elles soient plus fortes ou plus faibles. La fixité des proportions chimiques est la manifestation de cette cause, mais nos investigations ne peuvent pas aller au delà : la cause elle-même ne saurait se percevoir par les sens, elle ne peut être pour nous qu'un objet de spéculation.

Si j'essaye de développer la théorie généralement professée aujourd'hui sur la cause des proportions chimiques, je dois cependant prévenir d'abord que la fausseté ou la vérité de cette théorie n'a absolument rien de commun avec la loi elle-même ; que la loi restera toujours l'expression de l'expérience, qu'elle sera toujours vraie et invariable, de quelque manière que se modifient les idées sur la cause qui la provoque.

Parmi les théories qu'on a imaginées sur la nature

de la matière, il en est une très-ancienne, la théorie atomique, qui rend parfaitement compte des proportions chimiques. Cette théorie suppose que, dans l'espace occupé par un corps solide, liquide ou gazeux, toutes les parties ne sont pas remplies de matière concrète, mais que les molécules de chaque corps sont séparées par des pores, non pas visibles à l'œil, comme dans le bois par exemple, mais infiniment plus petits. D'après cela, tout corps serait composé de molécules très-petites, disposées à une certaine distance les unes des autres ; entre deux molécules, il y aurait donc un intervalle non rempli de matière concrète.

La vraisemblance de cette hypothèse saute aux yeux. On peut, en effet, comprimer un volume d'air, de manière à lui faire occuper un espace mille fois plus petit ; les corps solides et les liquides eux-mêmes diminuent de volume sous l'influence d'une pression mécanique ; une bille de billard, lancée avec une certaine force sur un corps dur, s'aplatit et reprend, en rebondissant, sa forme sphérique. Tous les corps augmentent de volume quand on les chauffe ; par le refroidissement, au contraire, ils diminuent de volume.

Ces faits, connus de tout le monde, font voir que l'espace occupé par un corps dépend de certaines circonstances fortuites, et varie suivant les causes qui tendent à l'augmenter ou à le diminuer. Or, si l'on réfléchit qu'à la place occupée par une molécule matérielle, c'est-à-dire, par ce qui, dans un corps, remplit réellement l'espace, il ne peut pas se trouver en même temps une seconde ni une troisième molécule, on arrivera tout naturellement à concevoir que l'augmenta-

tion ou la diminution de volume d'un corps puisse être la conséquence de l'écartement plus ou moins considérable des molécules matérielles. Dans un kilogramme d'eau liquide, les molécules de l'eau sont évidemment bien plus rapprochées que dans un kilogramme de vapeur qui, sous la même pression, occupe un espace 1700 fois plus grand.

Cette interprétation rend compte d'une foule de phénomènes fort simples qu'on ne saurait expliquer d'une autre manière.

La théorie atomique suppose, en outre, que les molécules dont se compose la masse d'un corps, ne se laissent pas diviser davantage; c'est pour cela qu'on leur a donné le nom d'*atomes*.

Nous ne pouvons pas nous figurer des particules de matière absolument insécables. Mathématiquement parlant, elles ne sauraient être infiniment petites, c'est-à-dire, sans étendue, car elles sont pesantes; cependant, si faible qu'on suppose leur poids, nous pouvons les concevoir divisées en deux, en trois, en cent parties. Toutefois, nous pouvons fort bien concevoir aussi que cette indivisibilité des atomes soit purement physique, qu'elle existe seulement pour nos moyens mécaniques; en ce sens, un atome physique serait donc un groupe, un agrégat de plusieurs molécules, maintenues ensemble par une force ou par des forces plus puissantes que toutes celles dont nous disposons pour en opérer la division.

Il en est des atomes comme des éléments admis par les chimistes. Les 56 corps simples connus ne sont des éléments que par rapport aux forces et aux moyens que les chimistes ont à leur disposition pour les réduire en

éléments encore plus simples. Pour être fidèles à la méthode scientifique, nous sommes obligés de les appeler corps simples jusqu'à ce que l'expérience nous assure du contraire. Sous ce rapport, d'ailleurs, l'histoire de la science est féconde en enseignements utiles, et toutes les fois qu'on a voulu franchir le terrain de l'expérience, on est tombé dans une foule d'erreurs et de fausses hypothèses qui ont fait rétrograder la science. Sans nier précisément que la matière soit divisible à l'infini, le chimiste admet donc l'existence d'atomes physiques, et il se tient ainsi dans les limites de sa science.

Un professeur de Tubingue a rendu sensible cette idée par une image ingénieuse : il compare les atomes aux corps célestes qui sont d'une petitesse infinie, par rapport à l'espace où ils se meuvent, et constituent en quelque sorte des atomes ; tous ces innombrables soleils, avec leurs planètes et leurs satellites, se meuvent à des distances déterminées les uns des autres ; ils sont indivisibles par rapport aux forces qui pourraient en détacher de la matière ou en modifier la forme et le volume, de manière à troubler leurs relations avec d'autres corps célestes ; mais, considérés en eux-mêmes, ils ne sont pas indivisibles. En ce sens donc, l'univers représente un grand corps dont les atomes, les corps célestes, sont indivisibles, inaltérables.

Au point de vue de la théorie atomique, un morceau de verre, de cinabre, de fer, etc., représente une agglomération d'atomes de verre, de cinabre, de fer, maintenus ensemble par la force de cohésion : la plus petite parcelle de fer est toujours du fer ; mais quant au cinabre, nous savons d'une manière positive que la parcelle, physiquement insécable de ce corps composé,

renferme néanmoins des particules encore plus petites, des particules de soufre et de mercure, dont nous connaissons même les proportions relatives.

Le fer est formé d'atomes similaires de fer, le cinabre, d'atomes similaires de cinabre; mais ces derniers ne sont pas simples ; comme ceux du fer, ils sont susceptibles d'une division ultérieure. Les atomes de cinabre sont semblables tels que nos sens les perçoivent, néanmoins ils sont composés; un morceau de cinabre peut être broyé, pulvérisé, limé, et réduit ainsi en fragments plus petits, mais il est impossible, quelque puissance mécanique que nous employions, de vaincre la force qui maintient unies les molécules dissemblables, c'est-à-dire, les parties constituantes de l'atome composé. C'est là précisément ce qui distingue l'affinité chimique de la force de cohésion; comme l'affinité ne se manifeste que par le contact des atomes dissemblables ou hétérogènes, et que, d'ailleurs, les atomes ne peuvent pas se pénétrer, il en résulte évidemment que les atomes composés naissent de la juxtaposition des atomes simples, provoquée par leurs affinités; les atomes composés se groupent alors par deux, par trois, par cent, et chaque agrégat ainsi produit représente une partie homogène du corps composé. On peut donc concevoir la particule de cinabre comme formant un groupe de deux atomes, dont l'un est un atome de mercure et l'autre un atome de soufre.

Il faut songer que mille kilogrammes de cinabre renferment les mêmes proportions de soufre et de mercure qu'un gramme ou un milligramme; lors donc qu'un morceau de cinabre renferme, je suppose, un million d'atomes de cinabre, il est évident que, dans un seul

atome, il y aura, comme dans le million, pour chaque quantité de 16 soufre une quantité de 101 mercure. Si nous décomposons le cinabre par le fer, l'atome de mercure sera éliminé et sa place occupée par l'atome de fer. Si nous remplaçons par l'oxygène le soufre contenu dans le cinabre, l'atome d'oxygène prendra la place de l'atome de soufre.

En suivant cette manière d'interpréter la composition des corps et leurs substitutions réciproques, il est aisé de voir que les nombres proportionnels, les équivalents, n'expriment autre chose que le poids relatif des atomes. Il est impossible de déterminer le poids absolu d'un atome, mais on en peut apprécier le poids relatif, c'est-à-dire la différence du poids d'un atome sur celui d'un autre atome, entré en combinaison. Pour déplacer 8 parties pondérales d'oxygène, il faut 16 parties de soufre ou deux fois le poids de l'oxygène, attendu que l'atome du soufre pèse deux fois autant que l'atome de l'oxygène; s'agit-il de les déplacer par de l'hydrogène, il n'en faut que le huitième du poids de l'oxygène, l'atome de l'hydrogène étant 8 fois plus léger que l'atome de l'oxygène. De même, l'oxyde de carbone, par exemple, est un groupe de deux atomes, l'acide carbonique en est un de trois; le premier corps renferme 1 atome de carbone et 1 atome d'oxygène, l'acide carbonique contient 1 atome de carbone et 2 atomes d'oxygène.

La fixité des proportions chimiques justifie entièrement la théorie qui admet l'existence de molécules insécables, d'un poids inégal, qui ne se pénètrent pas par la combinaison, mais ne font que se juxtaposer.

A proprement parler, les nombres proportionnels

expriment des effets semblables, c'est-à-dire le poids des corps qui produisent dans les combinaisons les mêmes effets, et ce sont ces effets que nous cherchons à nous figurer, en les attribuant à des molécules indivisibles, occupant un certain espace et douées d'une certaine forme. Nous n'avons aucun moyen de nous assurer du nombre véritable des atomes contenus dans une combinaison, même dans la plus simple, car il faudrait pouvoir les voir et les compter; aussi, quelque certains que nous soyons de l'existence des atomes physiques, nous ne saurions démontrer directement que les équivalents expriment les poids relatifs des atomes.

Un atome de cinabre renferme 16 de soufre pour 101 de mercure; les chimistes admettent que ces rapports numériques expriment le poids relatif d'un atome de mercure et d'un atome de soufre, mais ce n'est de leur part qu'une hypothèse, car il se pourrait que 101 représentât le poids de 2, de 3 ou de plusieurs atomes de mercure. Si ce poids était celui de 2 atomes, 1 atome de mercure devrait se représenter par le nombre 50,5; si c'était celui de 3 atomes, 1 atome de mercure pèserait 33,6; dans le premier cas, nous dirions le cinabre composé de 1 atome de soufre et de 2 atomes de mercure pesant chacun 50,5; dans l'autre, il serait considéré comme un composé de 1 atome de soufre, et de 3 atomes de mercure pesant chacun 33,6.

D'ailleurs, quelque interprétation qu'on adopte, qu'on admette dans le cinabre, deux, trois ou plusieurs atomes de mercure ou de soufre, la composition du cinabre est constante, et il n'y a de variable que la manière de l'exprimer. Cependant, comme les formules chimiques ont uniquement pour but de faire comprendre facile-

ment la composition et les métamorphoses des corps, il y a de l'avantage à en bannir tout ce qui rappelle l'hypothèse et à éviter d'y exprimer des opinions sujettes à changer. Le rapport numérique des équivalents, contenus dans une combinaison chimique, est constant et peut s'apprécier, mais jamais il ne sera possible de déterminer le nombre absolu des atomes dont l'assemblage constitue l'équivalent d'un corps. Il n'y a, au reste, nul inconvénient à prendre les équivalents pour les poids des atomes, toutes les fois qu'il s'agit de développements ou d'explications théoriques, car ces poids, comme nous l'avons déjà dit, n'expriment que des différences pondérales, ils disent combien un atome pèse de plus qu'un autre.

L'unité de poids généralement employée jusqu'à présent, et à laquelle on rapporte tous les équivalents, est la quantité d'hydrogène contenue dans l'eau en combinaison avec l'oxygène. L'eau renferme, pour 1 partie en poids d'hydrogène, 8 parties d'oxygène; or, si l'on admet que l'eau se compose de 1 atome d'hydrogène et de 1 atome d'oxygène, si l'on suppose, en outre, qu'il faut toujours 1 atome d'un autre corps pour remplacer 1 atome d'hydrogène ou d'oxygène, il est clair que les quantités de ces autres corps exprimeront leurs poids atomiques, en nombres se rapportant tous à 1 partie en poids d'hydrogène ou à 8 parties d'oxygène. En multipliant par le même nombre tous les équivalents, on n'en change pas les rapports; si, par exemple, on les multiplie tous par 12 $^1/_2$, l'équivalent de l'hydrogène devient 12,5, celui de l'oxygène devient 100, et les autres nombres expriment alors les quantités nécessaires pour remplacer, par les différents corps, 100 par-

ties d'oxygène ou 12,5 parties d'hydrogène. Il est donc indifférent de se servir des nombres qui se rapportent à l'hydrogène pris pour unité, ou à l'oxygène pris égal à 100.

SIXIÈME LETTRE.

Suite des considérations sur les atomes. — Forme des atomes. — Forme des cristaux. — Cristallisation simultanée des sels d'une même solution. — Identité de forme cristalline et de constitution atomique. — Isomorphisme. — Poids spécifique. — Volume atomique.

Nous avons admis que les atomes occupent un certain espace et présentent une certaine forme; en se combinant entre eux, ils produisent des atomes composés, qui occupent naturellement un espace moindre ou un espace plus grand que les atomes simples pris ensemble; la forme d'un corps varie donc suivant la manière dont ces derniers se sont groupés par la combinaison. Le rapport entre la forme et la composition des corps ne peut évidemment se constater que chez ceux qui cristallisent, dont les molécules ont une forme définie. On a fait, sous ce rapport, des observations fort intéressantes. Ainsi, lorsque deux sels de forme cristalline différente cristallisent dans un même liquide, les cristaux de chacun d'eux se forment aussi parfaitement que s'il n'y avait qu'un sel dans le liquide. Qu'on mette, par exemple, une poignée de salpêtre et de sel marin dans une quantité d'eau suffisante, ces deux sels s'y dissoudront; la solution, abandonnée dans un lieu chaud,

laissera peu à peu l'eau se vaporiser, les deux sels viendront se déposer en cristaux au fond du vase, et l'on pourra distinguer à l'œil nu les cubes de sel marin des longs prismes formés par le salpêtre. Si l'on retire du liquide un cristal de sel marin, et qu'on le lave avec de l'eau pure, on verra qu'il ne renferme plus aucune trace de salpêtre ; de son côté, le salpêtre ne contient plus de sel marin. Comme les deux espèces de cristaux se sont développés simultanément dans le même liquide, il est évident que les particules de sel marin, en cristallisant, n'ont attiré que des particules de sel marin, et que, de leur côté, les particules de salpêtre se sont uniquement réunies à des particules de salpêtre. Après l'évaporation complète de l'eau, on a bien un mélange intime de sel marin et de salpêtre, mais néanmoins les deux espèces de cristaux se trouvent isolés les uns des autres.

Lorsqu'on met du sel amer (sulfate de magnésie) et du salpêtre dans un peu d'eau chaude, et qu'on décante la solution saturée, on voit, pendant le refroidissement graduel du liquide, se déposer côte à côte des cristaux de salpêtre et des cristaux de sel amer, sans que les cristaux de l'un renferment rien de l'autre. Dans ce cas aussi, les molécules du sel amer n'ont donc aucune attraction pour les molécules du salpêtre ; il faut admettre, au contraire, qu'il existe entre elles une certaine répulsion, autrement les cristaux de salpêtre et de sel marin, comme ceux de sel amer et de salpêtre, non-seulement se juxtaposeraient, mais encore se traverseraient et se superposeraient dans tous les sens.

Il n'en est pas de même de certains autres sels. Quand on fait cristalliser, dans le même liquide, du sel amer,

du sulfate de nickel et du vitriol blanc (sulfate de zinc), on n'observe plus cette cristallisation isolée de chaque sel, mais tous les cristaux renferment la même quantité de vitriol blanc et de sel amer, ou de sel amer et de sulfate de nickel, et cela dans toutes les proportions possibles, suivant les quantités de chaque sel dissoutes dans le liquide. On voit donc que les molécules de vitriol blanc et de sel amer manifestent entre elles la même attraction au moment de prendre l'état solide ; car les molécules de vitriol attirent le sel amer, comme si elles étaient elles-mêmes des molécules de sel amer, tandis que, dans le cas précédent, les molécules de sel marin et de salpêtre opéraient en quelque sorte un choix entre les molécules dissoutes dans le même liquide.

Or, si l'on compare un cristal de sulfate de nickel avec un cristal de sel amer ou sulfate de magnésie, on remarque que les deux sels ont exactement la même forme ; il n'y a qu'une différence de couleur ; le cristal de sulfate de magnésie ressemble à un cristal de sulfate de nickel qui serait blanc, celui de sulfate de nickel a toute l'apparence d'un cristal de sulfate de magnésie qui serait vert ; ce sont les mêmes arêtes, les mêmes angles. Comme un gros cristal se compose d'une agglomération de cristaux infiniment petits, il faut évidemment que la plus petite molécule de sulfate de nickel ait la même forme que la plus petite particule de sulfate magnésien, ou, ce qui revient au même, que le groupe des atomes réunis pour former l'atome du sulfate de nickel ou de zinc ait la même forme que le groupe dont se compose l'atome du sulfate de magnésie ; un cristal dans lequel les trois sels sont renfermés

possédera donc la même forme que chaque sel constituant à l'état isolé.

D'autres expériences ont démontré que l'identité de forme de deux corps n'est pas la seule cause qui leur permet de cristalliser ensemble, sous une forme appartenant à chacun séparément. Ainsi, un cristal de sel ammoniac présente la même forme géométrique que l'alun, mais les deux corps cristallisent séparément dans un même liquide ; les cristaux d'alun ne retiennent pas de sel ammoniac, ceux de sel ammoniac pas d'alun ; c'est que, malgré l'identité de forme cristalline, la force avec laquelle s'attirent entre elles les molécules de l'alun ou les molécules du sel ammoniac, surpasse de beaucoup la force d'attraction des molécules de l'un des sels pour les molécules de l'autre ; l'observation, du moins, ne fait découvrir aucune attraction entre le sel ammoniac et l'alun.

Si l'on compare la composition des corps qui ne cristallisent pas ensemble, tout en ayant la même forme cristalline, avec la composition des corps capables de donner dans les mêmes circonstances des cristaux mixtes, on remarque que les premiers sont de composition bien différente, tandis que les seconds présentent une composition semblable. En effet, le sel amer, le vitriol blanc, le sulfate de nickel, renferment le même nombre d'atomes composés, de telle sorte qu'un cristal de sel amer ne diffère d'un cristal de vitriol blanc ou de sulfate de nickel qu'en ce que ces derniers contiennent, à la place d'un équivalent ou atome de magnésium, un atome de nickel ou de zinc ; pour produire du vitriol blanc ou du sulfate de nickel, nous n'aurions donc qu'à éliminer le magnésium contenu dans le cristal de

sel amer, et à le remplacer par un équivalent de zinc ou de nickel.

Il n'en est pas ainsi de l'alun et du sel ammoniac; celui-ci ne renferme que deux atomes composés, tandis que l'alun, qui cristallise sous la même forme, en contient trente. La constitution chimique de ces deux sels est donc entièrement différente, aussi ne cristallisent-ils pas ensemble.

Il résulte d'ailleurs de toutes les recherches, faites depuis par les chimistes, qûe la similitude de composition entraîne, dans beaucoup de cas, l'identité de forme cristalline. Lorsque deux combinaisons de même forme donnent des cristaux mixtes dont la forme géométrique est encore la même, elles ont ordinairement aussi une composition chimique semblable, c'est-à-dire, qu'elles contiennent le même nombre d'atomes ou d'équivalents, groupés de la même manière. Dans les cas où deux sels de forme différente cristallisent ensemble, il arrive toujours que la forme du cristal mixte se confond avec la forme de l'un des sels, dont la composition est alors aussi semblable à celle du cristal mixte. Ainsi, un mélange de vitriol bleu et de vitriol blanc, deux sels qui diffèrent par la forme et par la composition, donne, suivant le sel qui prédomine, des cristaux mixtes, ayant tantôt la forme du vitriol blanc, tantôt celle du vitriol bleu, mais alors les cristaux obtenus ont aussi ou la composition du vitriol blanc ou celle du vitriol bleu.

La forme cristalline d'un grand nombre de combinaisons chimiques est ainsi indépendante de la nature des éléments; sous ce rapport, les aluns offrent les exemples les plus remarquables. On appelle aluns, cer-

tains corps dont la composition est semblable à celle de l'alun ordinaire, qui se compose, comme chacun sait, d'acide sulfurique, d'alumine, de potasse et d'eau. Ce sel cristallise en fort beaux octaèdres réguliers. On peut séparer l'alumine de cet alun et la remplacer par l'oxyde de fer, de manganèse ou de chrome, sans rien changer à la forme du sel ni aux proportions des autres éléments. L'alun de fer qui renferme de l'oxyde de fer à la place de l'alumine, est sans couleur et ne saurait être distingué, par l'apparence extérieure, de l'alun d'alumine. L'alun de chrome n'en diffère qu'en ce qu'il est d'un rouge violacé presque noir; l'alun de manganèse est violet. Lorsqu'on place un cristal d'alun de chrome dans une solution d'alun ordinaire, saturée à froid, les particules cristallines de l'alun d'alumine se superposent, par l'évaporation graduelle de l'eau, aux faces de l'alun de chrome, absolument comme si ces particules étaient elles-mêmes de l'alun de chrome. La face qui touche le fond du vase est celle qui s'accroît le plus rapidement, et si l'on a soin, tous les jours, de retourner le cristal de manière que toutes les faces puissent se développer uniformément, on finit par avoir un octaèdre régulier d'alun d'alumine, blanc et transparent, au centre duquel se trouve un noyau octaédrique, rouge noir, formé par de l'alun de chrome.

Une semblable substitution peut s'effectuer dans l'alun, si l'on élimine l'acide sulfurique et qu'on le remplace par un autre corps d'une composition semblable, par l'acide chromique ou sélénique; de même, on peut y remplacer la potasse par l'oxyde d'ammonium, sans en changer la forme d'aucune façon. Bien plus, on a constaté cette persistance de la forme, non-seulement

dans les différents aluns, mais encore dans tous les cas où l'on voit se remplacer l'alumine, l'oxyde de fer et l'oxyde de chrome, ou l'acide sulfurique, l'acide chromique et l'acide sélénique, ou la potasse et l'oxyde d'ammonium; la forme cristalline n'est altérée que si la composition des corps change elle-même, c'est-à-dire, si un nouvel élément vient s'y ajouter ou qu'un élément s'en élimine sans être remplacé.

Les chimistes se sont appliqués à rechercher les corps capables de se remplacer ainsi, sans modifier la forme cristalline; ils les ont divisés en plusieurs groupes, qui ont reçu un nom fort approprié, celui de *substances isomorphes* ou corps ayant la même forme. Ainsi, en disant qu'il y a isomorphisme entre le chlore, le brome, l'iode et le cyanogène, entre la chaux, la magnésie, le protoxyde de manganèse et le protoxyde de fer, on veut indiquer que les combinaisons semblables, formées par ces corps isomorphes, ont la même forme cristalline et sont capables de se remplacer mutuellement dans d'autres corps, sans modifier cette forme.

Un cristal d'alun, on le comprend sans peine, peut renfermer, en proportions variables, indéfinies, de l'oxyde de fer et de l'alumine, ou bien de la potasse et de l'oxyde d'ammonium, sans cesser d'avoir la même forme et d'être considéré comme de l'alun; c'est précisément là le caractère propre des substances isomorphes de pouvoir se remplacer dans toutes les proportions possibles (1). Cette particularité dut sembler

(1) Ce passage pourrait être mal interprété par les personnes peu familiarisées avec les lois chimiques; il faudrait donc compléter la pensée de l'auteur à peu près ainsi : Supposons que l'alun renferme l'équivalent d'alumine, on pourra remplacer $1/2$, $3/4$, $7/9$,

d'abord en contradiction avec la constance des proportions chimiques, mais elle s'expliqua aisément dès qu'on eut reconnu qu'elle est la conséquence de l'identité de forme et d'attraction moléculaire.

Cette belle découverte, faite en Allemagne, a surtout profité à la minéralogie ; avant de connaître l'isomorphisme, les nombreuses tentatives qu'on fit pour classer les minéraux d'après leur composition chimique, rencontraient des complications et de grandes difficultés. Les chimistes les plus consciencieux se contredisaient dans la composition des minéraux les mieux caractérisés ; ainsi, on avait trouvé 13 p. 100 de magnésie dans le grenat d'Arendal, et l'on n'en avait pas trouvé du tout dans les grenats de Fahlun et du Vésuve ; le grenat de Bohême avait donné à l'analyse 27 p. 100 d'alumine, et le grenat jaune d'Altenau n'en contenait pas une trace. Quelles étaient, d'après cela, les parties constitutives du grenat, quelle était sa véritable composition ? Toutes ces contradictions s'expliquent maintenant de la manière la plus simple : dans les grenats exempts d'alumine, on trouve un oxyde isomorphe avec l'alumine, l'oxyde de fer ; dans les grenats où manque la magnésie, cet oxyde est remplacé par un corps isomorphe, la chaux ; les grenats renferment donc des quantités variables d'oxydes isomorphes ; d'une part, l'oxyde de fer et l'alumine ; d'autre part, la chaux, le protoxyde de manganèse, la

$^2/_{100}$, $^1/_{1000}$, ou toute autre fraction d'équivalent d'alumine, par une substance isomorphe, pourvu que ce soit aussi par $^1/_2$, $^3/_4$, $^7/_9$, $^1/_{100}$, $^1/_{1000}$, c'est-à-dire, par la même fraction d'équivalent.

Toutes les fractions sont donc possibles, mais les remplacements se font toujours par quantités équivalentes. C. G.

magnésie, le protoxyde de fer, toutes substances pouvant se remplacer sans modifier la forme du grenat.

Des mesures cristallographiques, faites ultérieurement avec plus d'exactitude, ont mis en évidence que les combinaisons semblables de substances isomorphes n'ont pas toujours identiquement la même forme, et que les angles, formés par les faces entre elles, ne sont pas rigoureusement les mêmes. Mais ces différences s'expliquent parfaitement dans la théorie atomique, et fournissent même les arguments les plus concluants en faveur de l'existence des atomes. Imaginons, en effet, un cristal d'alun, formé par la juxtaposition d'atomes dont chacun ait une forme définie; la forme du cristal total dépendra de la forme de ses molécules, et l'atome d'alumine remplira un certain espace dans l'atome d'alun. L'atome d'alumine étant enlevé du cristal, et remplacé par un atome d'oxyde de fer, le cristal d'alun conservera sa forme géométrique si l'atome d'oxyde de fer possède la même forme que l'atome d'alumine, et si, en même temps, le volume occupé par l'atome d'oxyde de fer est exactement le même que le volume de l'atome d'alumine. Mais, si l'oxyde isomorphe ne remplit pas exactement l'espace occupé d'abord par le premier oxyde, si son volume est plus grand ou plus petit, il est évident que cette différence se traduira dans l'inclinaison des arêtes sur les axes du cristal.

Un moyen fort ingénieux a permis d'évaluer l'espace occupé dans une combinaison par les atomes de deux substances isomorphes, capables de se remplacer. Les corps solides, liquides et gazeux, présentent, comme on sait, sous un même volume, des poids bien différents : en disant, le bois est plus léger que le plomb, nous

comparons, sans y penser, l'espace occupé par un morceau de bois avec celui d'un morceau de plomb de même dimension. Un kilogramme de bois pèse autant qu'un kilogramme de plomb, mais un mètre cube de plomb pèse onze fois plus qu'un mètre cube de bois. On a déterminé en nombres, avec beaucoup de soin, cette différence de poids entre les corps occupant le même volume; ces nombres sont ce qu'on appelle les *poids spécifiques* des corps. De même qu'on compare entre eux les poids absolus de deux corps, qu'on cherche combien de fois une unité de poids connue, un gramme, par exemple, est contenue dans le poids de chacun d'eux, sans égard à l'espace qu'ils occupent, de même aussi on peut comparer leur poids en le rapportant à une unité de poids prise sous un même volume; dans ce dernier cas, l'unité de poids est un volume connu d'eau. On exprime donc par des nombres, rapportés à cette dernière unité, combien de fois le même volume des autres corps pèse de plus ou de moins : c'est là leur poids spécifique.

S'agit-il de trouver le poids absolu d'un corps, on le place sur l'un des plateaux d'une balance, tandis qu'on met sur l'autre autant d'unités de poids, de grammes, par exemple, qu'il faut pour établir l'équilibre entre les deux plateaux, et il est entièrement indifférent de prendre pour cela une unité de poids faite en plomb, en fer, en platine, en bois ou en toute autre matière. Mais, supposons sur le second plateau, au lieu de grammes de fer, des grammes d'eau, supposons de plus que nous ayons pris assez d'eau pour que les deux plateaux soient en équilibre, il est évident que nous aurons ainsi le poids du corps exprimé

en grammes d'eau ; si nous comparons ensuite l'espace occupé par le corps pesé avec l'espace occupé par l'eau qui a servi de poids, nous saurons exactement combien de fois, à poids égal, l'eau occupe plus ou moins d'espace que le corps en question. Si nous plaçons sur l'un des plateaux un centimètre cube de fer, il faudra, pour rétablir l'équilibre, placer sur l'autre plateau 7 $^3/_4$ centimètres cubes d'eau ; par conséquent, un centimètre cube d'eau est 7 $^3/_4$ fois plus léger qu'un centimètre cube de fer, ou, ce qui revient au même, un centimètre cube de fer pèse 7 $^3/_4$ fois plus qu'un centimètre cube d'eau (1). Si nous équilibrons avec de l'eau 100 volumes d'essence de térébenthine, nous verrons que 86 volumes d'eau pèsent autant que les 100 volumes d'essence, ou que 86 poids d'essence occupent le même espace que 100 poids d'eau ; en d'autres termes, que l'essence de térébenthine ne pèse que les $^{86}/_{100}$ (0,86) du poids de l'eau.

Les poids spécifiques ne sont donc autre chose que les poids des corps, comparés au poids d'un même volume d'eau. Il est presque inutile d'y insister davantage : les nombres 7,75 pour le fer, 11,3 pour le plomb, 1,989 pour le soufre, 4,948 pour l'iode, 1,38 pour le

(1) J'indiquerai ici, comme simple exemple, la manière dont on peut déterminer, avec la plus grande rigueur, le volume des corps qui échappent à nos instruments de mesure, le volume, par exemple, d'une quantité donnée de sable. Qu'on se figure un verre gradué, indiquant exactement sa capacité en centimètres cubes avec subdivisions. Si l'on remplit le verre à moitié d'eau, et qu'on y verse ensuite le sable pesé, l'eau s'élèvera d'une quantité égale au volume du sable ajouté ; la différence des deux niveaux, avant et après l'addition du sable, exprimera le volume de ce dernier en centimètres cubes.

chlore liquide, expriment évidemment combien de fois le fer, le plomb, le soufre, l'iode, le chlore liquide pèsent plus qu'un égal volume d'eau. La différence de poids entre deux mêmes volumes de soufre et de fer est exprimée par la différence qui existe entre les nombres 1,989 et 7,75 ; celle entre deux mêmes volumes d'iode et de chlore, par 4,948 et 1,380. Bien entendu, la différence de poids entre deux corps à volume égal sera la même quel que soit ce volume ; si le volume de l'un d'eux augmente ou diminue, cette différence sera donc toujours dans le rapport de cette augmentation ou de cette diminution. Ainsi, par exemple, la différence de poids entre 2 centimètres cubes d'iode et 1 centimètre cube de chlore sera comme 2 fois 4,948 ou 9,896 est à 1,380, etc.

Pourquoi les corps à volume égal ont-ils des poids inégaux ? D'après l'idée qu'on se forme aujourd'hui sur la constitution des corps, chaque corps est un agrégat de molécules pesantes dont chacune remplit un certain espace et possède une forme déterminée. Les faits révélés par l'isomorphisme démontrent que lorsque le remplacement s'effectue sans altérer la forme cristalline des combinaisons, cela tient à ce que les atomes qui s'y remplacent, affectent la même forme et présentent la même dimension ; lorsque, au contraire, la forme cristalline se modifie par ce remplacement, il faut évidemment admettre que les atomes du corps remplaçant possèdent une autre forme ou ne remplissent pas le même espace que les atomes du corps remplacé. On est donc naturellement conduit à supposer, dans les particules appelées atomes, une différence de poids ou une différence de dimension, et ceci rend par-

faitement compte du poids spécifique. Ainsi le plomb, à volume égal, pèse plus que le fer, le fer plus que le soufre, l'iode plus que le chlore, parce que l'atome de l'iode est plus pesant que l'atome du chlore, parce que dans le même espace il y a un plus grand nombre d'atomes de plomb que de soufre.

Imaginons le même nombre d'atomes dans l'espace d'un centimètre cube, supposons qu'il y ait mille atomes d'iode ou de chlore, les poids spécifiques de ces corps exprimeront évidemment la différence entre les poids de leurs atomes : si le centimètre cube d'iode pèse 41,948 grammes, un centimètre cube de chlore pèsera 380 grammes; $^1/_{1000}$ de centimètre cube, renfermant 1 atome d'iode, pèsera par conséquent $\frac{4948}{1000}$ de gramme, $^1/_{1000}$ de centimètre cube de chlore, contenant 1 atome de chlore pèsera $\frac{1380}{1000}$ de gramme. Or, le chlore et l'iode sont isomorphes; nous admettons que leurs atomes ont la même forme et le même volume. Si un même volume de chlore et d'iode renferme le même nombre d'atomes, il faut évidemment que leurs poids spécifiques soient entre eux comme leurs nombres proportionnels ou leurs poids atomiques; s'agit-il de déplacer, dans une combinaison, 4,948 grammes d'iode par du chlore, il faut donc employer 1,380 grammes de chlore. Une simple proportion démontre qu'il en est, en effet, ainsi : le poids spécifique de l'iode est au poids spécifique du chlore comme 4,948 est à 1,380, ou, ce qui est la même chose, comme leurs équivalents sont entre eux, comme 126 iode est à 35,2 chlore.

Ces relations remarquables se sont confirmées dans toutes les substances isomorphes; les poids spécifiques

de ces corps expriment les poids d'après lesquels ils se remplacent dans les combinaisons, c'est-à-dire les poids auxquels on a donné le nom d'équivalents, et on a constaté, de plus, que lorsque les corps isomorphes présentent sous ce rapport quelque différence, lorsque leurs poids spécifiques ne s'accordent pas exactement avec les équivalents, cette différence se traduit dans l'inclinaison des faces, dans les angles formés par les arêtes et l'axe du cristal. La forme des cristaux n'est identique que dans le cas où les atomes des substances isomorphes qui se substituent, ont un volume égal sous la même forme; si le volume de l'atome remplaçant est plus petit que celui de l'atome éliminé, cette différence s'exprime infailliblement dans la forme du nouveau cristal.

Voici les considérations sur lesquelles on s'est basé pour exprimer numériquement l'espace occupé par les atomes des différents corps.

Figurons-nous les équivalents ou nombres proportionnels comme exprimant des poids réels, 35, 2 désignant 35, 2 grammes de chlore, 12,6 autant de grammes d'iode, 27,2 autant de grammes de fer, 29,6 autant de grammes de nickel. Divisons chacun de ces nombres par le poids d'un centimètre cube de chlore, d'iode, de fer, de nickel, ou, ce qui revient au même, par leur poids spécifique (1 centimètre cube d'eau pesant 1 gramme, 1 c. c. de chlore pèsera 1, 380 gr., 1 c. c. d'iode 4,948 gr., 1 c. c. de fer 7,790 gr., 1 c. c. de nickel 8,487 gr.). Cette opération nous apprendra combien de centimètres cubes de chlore, d'iode, de nickel, de fer sont contenus dans 1 équivalent de chlore, d'iode, de nickel, de fer, c'est-à-dire que les quotients indiqueront combien

d'espace, en centimètres cubes, est occupé par 1 équivalent de chlore, d'iode, de fer, de nickel, ou, en général, quel est le rapport entre les volumes de ces corps et leurs équivalents ou poids atomiques. Or, d'après notre supposition, les atomes des substances isomorphes ont la même forme et la même grandeur; sous un volume égal, leur nombre est le même; lors donc que 1 équivalent de chlore renferme autant d'atomes que 1 équivalent d'iode, il faudra obtenir le même nombre en divisant leur poids atomique par leur poids spécifique. 35, 2 qui est le poids atomique du chlore, étant divisé par 1,380, son poids spécifique, donne 25; et 126, poids atomique de l'iode, divisé par 3,948, son poids spécifique, donne encore le même nombre 25.

La supposition d'où nous sommes partis, se trouve donc entièrement justifiée par les faits. Le poids atomique ou l'équivalent des corps isomorphes, étant divisé par leur poids spécifique, donne toujours le même quotient, attendu que ces corps renferment sous un même volume le même nombre d'atomes; si ce nombre n'est pas le même, si les atomes diffèrent sous le rapport de la forme ou de la grandeur, cette différence se traduit immédiatement dans le quotient.

Cette circonstance rend fort importante la connaissance et la comparaison de ces quotients. On les désigne sous le nom de *volumes atomiques* ou de *volumes spécifiques* des corps. Ainsi l'on dit, le volume atomique du chlore est 25, celui de l'iode est également 25, ces corps ont le même volume atomique, ils sont isomorphes; le volume atomique du soufre est 8, il est donc fort différent de celui du chlore avec lequel il n'est pas isomorphe; mais le volume atomique du soufre est le même

que celui du sélénium, aussi ces deux corps sont-ils isomorphes.

Les quotients dont nous parlons, indiquent immédiatement si deux corps renferment, ou non, sous un volume égal, le même nombre d'atomes; il est fort important de les déterminer avec précision et d'en étudier les rapports.

SEPTIÈME LETTRE.

Appareils de chimie. — Matériaux avec lesquels on les construit : verre, caoutchouc, liége, platine. — Balance. — Eléments des anciens. — Lavoisier et ses successeurs. — Etude des parties constituantes du globe. — Production synthétique des minéraux. — Outremer. — Chimie organique.

Quand il s'agit du développement et des progrès de la chimie moderne, on ne peut s'empêcher de faire ressortir tout le mérite des instruments et des appareils que le chimiste emploie dans ses travaux. On peut affirmer que, sans le verre, sans le liége, le platine et caoutchouc, la chimie n'aurait pas encore, à cette heure, fait la moitié des progrès dont elle s'honore aujourd'hui. Au temps de Lavoisier, la cherté des appareils ne les rendait abordables qu'à un petit nombre de personnes fort riches.

Il n'est personne qui ne connaisse les propriétés merveilleuses du verre : transparent, dur, incolore, inattaquable par les acides et par presque tous les liquides, le verre devient, à certaines températures, plus ductile, plus maniable que la cire ; à l'aide de la flamme d'une lampe à l'huile, le chimiste lui communique toutes les formes, tous les contours nécessaires à ses appareils. Et le liége, quelles propriétés précieuses il possède ! peu de gens pourtant savent l'apprécier ; on ne trouverait pas à le remplacer par une substance

plus propre à boucher la plus simple bouteille; le liége, en effet, est imprégné d'une substance particulière, qui tient le milieu entre la cire, le suif et la résine, et c'est cette substance qui le rend imperméable aux liquides, et même, jusqu'à un certain point, à tous les gaz. A l'aide du liége, le chimiste ajuste des appareils à larges orifices à d'autres plus étroits; au moyen du caoutchouc et du liége, il construit les appareils en verre les plus compliqués, sans vis ni robinets, sans le secours du mécanicien ni d'aucun ouvrier, et ces appareils sont aussi peu dispendieux que prompts et faciles à établir ou à réparer.

Sans le platine, nous serions hors d'état de faire l'analyse des minéraux. C'est que tout minéral a besoin d'être dissous ou d'être désagrégé pour devenir soluble. Les creusets en verre ou en porcelaine, et en général tous les vases non métalliques sont détruits, quand on y fait fondre les minéraux; les creusets en or et en argent fondraient eux-mêmes à des températures trop élevées. D'un autre côté, le platine coûte aussi moins cher que l'or; il a plus de dureté et résiste mieux que l'argent; il est infusible aux températures de nos fourneaux; les acides, les carbonates alcalins ne l'attaquent pas; il réunit à lui seul les qualités de l'or et celles de la porcelaine réfractaire. Sans le platine, nous ignorerions peut-être encore aujourd'hui la composition de la plupart des minéraux; sans le liége et le caoutchouc, nos travaux nécessiteraient à tout moment l'assistance du mécanicien; sans le caoutchouc seul, les appareils seraient plus coûteux, plus fragiles; l'avantage le plus précieux d'ailleurs, c'est la grande économie de temps qu'ils procurent l'un et l'autre.

Aujourd'hui le laboratoire du chimiste n'est plus la voûte à l'épreuve du feu, mais sombre et froide du métallurgiste, ce n'est plus l'officine du pharmacien, remplie de cornues et d'alambics. Le chimiste travaille dans une chambre claire, chaude et confortable; au lieu de gros fourneaux pour fondre, il se sert de lampes parfaitement construites, et la flamme pure et sans odeur de l'alcool lui remplace le feu du charbon. Ajoutez-y encore la balance, et vous aurez la liste complète des simples auxiliaires qui permettent au chimiste les travaux les plus étendus.

Le physicien mesure, le chimiste pèse, c'est en quelque sorte la seule différence essentielle entre les deux sciences; depuis des siècles les physiciens ont employé les mesures, mais il y a cinquante ans à peine qu'on s'est mis à peser. Toutes les grandes découvertes de Lavoisier, nous les devons à l'emploi de la balance, de cet instrument admirable qui précise toutes les observations, toutes les découvertes, qui nous guide avec assurance dans la route de la vérité. La balance a mis fin aux doctrines d'Aristote, en introduisant dans la science la véritable méthode d'investigation, à la place de ces jeux d'imagination par lesquels elles expliquaient les phénomènes; elle a démontré que trois des éléments d'Aristote, la terre, l'eau et l'air, ne sont que l'image des différents états des corps; ces états sont encore aujourd'hui les mêmes, il y a encore des solides, des liquides et des gaz, mais la terre, l'eau et l'air ne sont plus des éléments; le feu n'est plus que le représentant visible ou palpable du changement d'état des corps.

La question qui a dû principalement préoccuper les

successeurs de Lavoisier, c'est la composition de la croûte solide de notre globe; Lavoisier lui-même avait fixé la composition de l'atmosphère et celle de l'eau. Aux dix-huit métaux connus sont venus s'ajouter vingt-quatre nouveaux; l'extrême lacune qui existait entre l'oxygène et les métaux s'est remplie insensiblement; la grande majorité des minéraux s'est trouvée composée de deux ou de plusieurs oxydes, combinés entre eux en proportions fixes et invariables; on y a reconnu des combinaisons d'oxydes métalliques avec d'autres oxydes à radical de carbone ou de silicium fort différents, dans leurs propriétés, des oxydes métalliques; d'autres minéraux se sont trouvés constitués par des sulfures, c'est-à-dire par des combinaisons renfermant du soufre à la place de l'oxygène; à l'exception d'un seul chlorure, du sel marin, les autres combinaisons, les fluorures, les arséniures n'ont été rencontrés dans la nature qu'en petite quantité.

Mais le chimiste ne s'est pas contenté d'analyser les minéraux; il en a aussi démontré la composition par la synthèse; il a reproduit lui-même la pierre ponce, le feldspath, le mica, les sulfures métalliques, etc. La préparation de l'outremer ou lapis lazuli est, sans contredit, la plus belle découverte parmi ces reproductions artificielles des minéraux de la nature; aucun minéral n'était, plus que l'outremer, digne de son intérêt. Du plus bel azur, inaltérable à l'air et au feu le plus intense, l'outremer, divisé en particules fort ténues, donnait aux peintres la couleur la plus précieuse, mais il était plus cher que l'or; il semblait impossible de le préparer artificiellement, car l'analyse n'y faisait découvrir aucun principe colorant

particulier, auquel on pût attribuer ce beau bleu ; on n'y trouvait que de la silice, de l'alumine, de la soude, trois matières incolores, ainsi que du soufre et du fer, qui ne sont pas bleus. Aujourd'hui, on fabrique des milliers de kilogrammes d'outremer, simplement avec de la silice, de l'alumine, de la soude, du fer et du soufre ; on le fait même plus beau que l'outremer naturel, et l'on en paye le kilogramme au même prix que jadis quelques grammes. Depuis cette synthèse de l'outremer, la reproduction artificielle des minéraux a, on peut le dire, cessé d'être pour le chimiste l'objet d'un problème scientifique, elle n'intéresse plus que les géologues. Les chimistes ont sous ce rapport résolu toutes les questions qui, sont de leur terrain ; mais il est à craindre que les géologues ne soient encore longtemps avant de se décider à faire des expériences comme celles qui leur ont été si bien tracées par la chimie.

Après avoir examiné la composition de la croûte solide du globe, après avoir étudié les réactions mutuelles des métaux et des corps non métalliques qui résistent à tous les moyens de décomposition, les chimistes ont dû naturellement porter leur attention sur les substances formant le siége de la vie dans des plantes et dans des animaux. Une nouvelle science, inépuisable comme la vie elle-même, est venue se greffer sur la branche saine et solide de la chimie minérale ; sur cette branche nouvelle poussent déjà des bourgeons, des feuilles, des rameaux ; plus tard viendra la fleur, plus tard encore le fruit ; déjà la chimie végétale et animale cherche, de concert avec la physiologie, à sonder les sources mystérieuses de la vie organique.

HUITIÈME LETTRE.

Changements d'état de la matière. — Transformation des gaz en liquides et en corps solides. — Acide carbonique ; ses propriétés à l'état solide. — Condensation des gaz par les corps poreux, par l'éponge de platine ; importance de ce phénomène dans la nature.

J'ai dit, dans ma deuxième lettre, que les quatre éléments des anciens ne sont plus pour nous que les symboles de la forme et de l'état de la matière ; j'ajouterai aujourd'hui que ces différents états des corps ne sont fixes que d'une manière relative, car la chimie moderne n'admet rien d'absolument solide, liquide ou gazeux. Il est vrai, le platine, l'alumine, le cristal de roche, sont infusibles au feu le plus violent de nos fourneaux ; mais ils fondent comme la cire par la chaleur du chalumeau à gaz détonnant (mélange d'oxygène et d'hydrogène) ; de même, des 28 gaz connus, 25 sont susceptibles d'être liquéfiés, un d'entre eux a été même solidifié (1).

La loi de Mariotte, d'abord admise pour tous les gaz, a donc perdu son universalité. Il n'est pas exact de dire que le volume de tous les gaz est en raison inverse de la pression qu'ils supportent ; la plupart des gaz,

(1) Depuis la publication de ces lettres, M. Faraday a solidifié plusieurs gaz qui n'avaient d'abord pu s'obtenir qu'à l'état liquide. C. G.

il est vrai, occupent sous une pression double ou triple la moitié ou le tiers de leur volume primitif; mais, dans le cas du gaz sulfureux ou du cyanogène, par exemple, la diminution du volume ne correspond plus à la pression, elle est bien plus considérable. Comprimé au sixième du volume qu'il occupe à la pression ordinaire de l'air, le gaz ammoniac cesse d'être gazeux; de même, le gaz carbonique cesse d'être gazeux et d'obéir à la loi de Mariotte, si on le comprime à $^1/_{36}$ de son volume primitif. Sous ces fortes pressions, une partie du gaz quitte l'état aériforme et devient liquide; dès que la pression cesse, le liquide reprend l'état gazeux.

Les appareils, dont le chimiste se sert pour liquéfier les corps gazeux, sont d'une extrême simplicité : un grand froid artificiel ou un simple tube de verre recourbé lui remplacent la machine de compression la plus puissante. Quand on chauffe du cyanure de mercure dans un tube de verre, ce corps se décompose en mercure métallique et en cyanogène gazeux; si l'on opère dans un tube fermé hermétiquement, la chaleur détermine encore la même décomposition, mais le gaz cyanogène ne peut plus s'échapper, et se trouve confiné dans un espace qui est une centaine de fois plus petit que l'espace occupé par le même gaz, en dehors du tube, à la pression ordinaire de l'air; si l'on refroidit quelque peu la branche non échauffée du tube, cette circonstance a pour effet d'y condenser à l'état liquide la plus grande partie du cyanogène.

Versez de l'acide sulfurique sur du calcaire placé dans un vase ouvert, vous verrez du gaz carbonique se développer avec effervescence; mais si vous effectuez la même décomposition dans un vase en fer assez fort, et par-

faitement clos, vous pourrez recueillir plusieurs livres d'acide carbonique liquide. Sous la pression de 36 atmosphères, l'acide carbonique se sépare, à l'état liquide, des corps où il est en combinaison.

Les journaux ont beaucoup parlé des propriétés remarquables de cet acide carbonique liquide. Un mince filet de ce liquide, au moment de s'écouler dans l'air, reprend très-rapidement son état gazeux primitif, mais la partie qui se gazéifie, enlève alors une si grande quantité de chaleur à la partie restée liquide, que celle-ci se solidifie en une neige blanche. On croyait d'abord, en effet, que cette substance cristalline était de véritable neige, c'est-à-dire de la vapeur d'eau solidifiée dans l'air, mais un examen plus attentif la fit bientôt reconnaître pour de l'acide carbonique congelé, d'une parfaite pureté. Au premier abord, il semblerait que cet acide solide doive exercer une très-forte pression sur les corps environnants; mais cette pression n'est que très-faible. Tandis que l'acide liquide, enfermé dans un tube, s'élance au-dehors, quand on l'ouvre, et le réduit en mille morceaux, au moment de se gazéifier; l'acide carbonique solide peut se prendre des doigts et se placer sur la main, sans qu'on éprouve autre chose qu'une très-forte sensation de froid. L'extrême rapprochement des molécules de l'acide concret fait en sorte que la force de cohésion, si nulle dans le gaz, se manifeste dans toute son intensité; elle oppose donc une certaine résistance à la tendance des particules à prendre l'état gazeux, et cette résistance n'est surmontée que peu à peu; l'acide solide ne reprend insensiblement l'état de gaz qu'à mesure qu'il reçoit de la chaleur des environs. Le refroidissement

qu'éprouvent les substances environnantes pendant ce passage de l'acide solide à l'état gazeux, est extrêmement considérable : avec un mélange d'éther et d'acide concret, on peut, en peu d'instants, rendre solides et malléables cinq, dix kilogrammes de mercure, et même davantage. Les générations futures ne seront plus admises à être spectatrices de ces expériences remarquables, car elles sont trop dangereuses, comme le prouve l'affreux accident arrivé naguère au laboratoire de l'École de pharmacie de Paris. On y préparait, pour le cours, l'acide carbonique solide dans un cylindre de fonte (de 1 pied de diamètre et de 2 pieds $^1/_2$ de long), quand soudain l'appareil éclata avec une violence épouvantable, et les fragments, lancés au loin, vinrent emporter les deux jambes au préparateur ; l'infortuné jeune homme en mourut. On frémit en songeant que cette explosion eût pu causer un malheur encore plus grand, si l'appareil, en fonte très-forte, et à peu près du calibre d'un canon, avait crevé dans l'auditoire qui était alors tout rempli d'élèves ; il avait si souvent servi à la même expérience qu'on ne pouvait pas soupçonner le moindre danger.

La singulière propriété que possède le charbon poreux d'absorber et de condenser jusqu'à dix ou vingt fois son volume de certains gaz, n'est plus pour nous un mystère depuis qu'on sait que la plupart des gaz peuvent être liquéfiés par la compression ou par le froid. Le charbon absorbe même soixante-dix à quatre-vingt-dix fois son volume de gaz ammoniac ou de gaz hydrochlorique. Ces gaz, confinés dans les pores du charbon, occupent un espace plusieurs centaines de fois plus petit que celui qu'ils remplissaient d'abord ;

on ne peut plus douter maintenant qu'ils n'y existent en partie à l'état liquide ou solide. Ici donc, comme dans mille autres cas, l'action chimique produit le même effet que les forces mécaniques. Ce phénomène nous oblige à modifier nos idées sur l'adhésion ; avant de le connaître, on ne pensait pas qu'elle pût entraîner un changement d'état dans les corps, mais il est constant aujourd'hui que l'adhérence des gaz à la surface d'un corps solide est déterminée par une force contraire à la force de dissolution.

Les molécules d'un gaz, de l'air, par exemple, peuvent, par la simple pression, être resserrées dans un espace mille fois plus petit; la masse d'un gaz est à la surface appréciable d'un corps solide ce qu'est à peu près une petite boule de moelle de sureau à toute une montagne. Les molécules gazeuses sont attirées par le corps solide, et viennent adhérer à sa surface en vertu de l'action des masses, c'est-à-dire de la pesanteur ; si à cette première action vient s'ajouter une action chimique, même faible, les gaz coercibles ne peuvent plus conserver leur état. On ne saurait, il est vrai, mesurer la condensation qui a lieu à la surface d'un centimètre carré, par exemple; mais imaginons une surface solide de quelques centaines de mètres carrés, et concevons-la resserrée dans l'espace d'un centimètre cube : tout gaz où ce solide sera introduit diminuera de volume, le gaz sera, comme on dit, absorbé. Les pores d'un centimètre cube de charbon ont pour le moins une surface de plusieurs mètres carrés. D'ailleurs, la faculté absorbante des différents charbons varie; ceux à grands pores absorbent naturellement moins de gaz que les charbons à petits pores.

De même que le charbon, toutes les matières poreuses, certaines pierres, certaines roches, la terre de nos champs, absorbent l'air atmosphérique, et, par conséquent, l'oxygène. Chaque particule de ces corps s'entoure donc d'une espèce d'atmosphère d'oxygène condensé, et si cet oxygène rencontre d'autres substances avec lesquelles il puisse se combiner, s'il rencontre par exemple, des substances carbonées et hydrogénées, celles-ci se transforment en acide carbonique et en ammoniaque, et deviennent ainsi des aliments pour les plantes. C'est encore à ces condensations par les surfaces solides qu'il faut attribuer le dégagement de chaleur qui s'observe quand l'air ou les vapeurs aqueuses sont ainsi absorbées, quand la terre est mouillée par la pluie.

Le corps qui présente au plus haut degré cette propriété d'absorber le gaz oxygène, c'est le platine métallique. Ce métal, ordinairement blanc et brillant, peut, quand on le précipite d'un liquide, s'obtenir dans un état de division telle que ses particules ne réfléchissent plus la lumière ; il présente alors l'aspect du noir de fumée. Dans cet état, le platine absorbe, en oxygène, plus de 800 fois le volume de ses pores; ce gaz s'y trouve alors nécessairement dans un état de condensation très-rapproché de celui de l'eau liquide.

Employé sous cette forme où ses molécules sont si rapprochées, le platine permet de mettre en évidence les propriétés de tous les gaz coercibles; leurs caractères chimiques effacent alors leurs caractères physiques, et surtout leur élasticité, c'est-à-dire la tendance des molécules gazeuses à s'écarter. Cette tendance empêche dans beaucoup de cas la manifesta-

tion de l'action chimique qui, comme on sait, exige un certain rapprochement entre les molécules susceptibles de se combiner. Les pores, les surfaces des corps solides neutralisent donc la force répulsive des molécules gazeuses, et alors leur activité chimique peut se manifester dans toute son intensité. Plusieurs combinaisons ou décompositions que l'oxygène n'effectue pas dans les circonstances ordinaires, s'accomplissent avec la plus grande facilité dans les pores du platine renfermant de l'oxygène condensé. Ce noir de platine, et même l'éponge de platine, nous offrent un véritable mouvement perpétuel, une espèce d'horloge qui marche et se monte d'elle-même, une force inépuisable, qui produit les effets les plus puissants, se renouvelant d'eux-mêmes à l'infini.

Lorsqu'on dirige un courant d'hydrogène sur de l'éponge de platine, ce gaz se combine avec l'oxygène condensé dans l'intérieur du métal, et il se produit alors de l'eau ; cette combustion détermine le dégagement d'une chaleur telle que le platine devient incandescent et enflamme le gaz hydrogène qui le rencontre ensuite. Dès qu'on suspend le courant de l'hydrogène, les pores du platine, devenus vides, se remplissent à l'instant même d'oxygène, et le même phénomène peut être reproduit, et cela indéfiniment.

Cette action des surfaces solides, et surtout des corps poreux sur les gaz, a donné la clef d'une foule de phénomènes, inexplicables jusqu'alors. La transformation de l'alcool en vinaigre, l'une des branches industrielles les plus importantes, s'effectue aujourd'hui par l'application d'un procédé fort expéditif, fondé sur les principes que nous venons de développer.

NEUVIÈME LETTRE.

Fabrication de la soude par le sel marin; son importance pour le commerce et pour l'industrie. — Verre. — Savons. — Acide sulfurique. — Affinage de l'argent. — Blanchîment. — Commerce du soufre.

La fabrication de la soude, au moyen du sel commun, peut être considérée comme la principale cause de l'essor extraordinaire qu'a pris l'industrie moderne dans toutes les directions. Cette fabrication vous fournira, je l'espère, un exemple instructif de la connexion intime qui existe entre les arts les plus divers, et qui relie à la chimie toutes les branches de l'industrie et du commerce.

La soude, ou le composé principal (l'oxyde de sodium) qu'elle renferme, est employée en France, depuis un temps immémorial, pour fabriquer le verre et le savon, deux produits de la chimie industrielle qui, à eux seuls, mettent en circulation d'énormes capitaux.

La quantité de savon consommée par une population peut servir de mesure au degré de son bien-être et de sa civilisation. Les économistes ne lui reconnaîtront pas cette importance; cependant, qu'on prenne au sérieux mon assertion ou qu'on la tourne en plaisanterie, il n'en est pas moins vrai qu'en comparant deux pays également peuplés, on trouvera plus d'aisance, plus de richesse, plus de développement intellectuel chez celui où se fera la plus grande consommation de savon. C'est que l'usage du savon n'est pas

une affaire de mode ou de sensualité ; il est intimement lié au sentiment du beau, du bien-être, que donne la propreté, et là où ce sentiment est cultivé et nourri, à côté des exigences des autres sens, on doit aussi rencontrer l'aisance et la civilisation. Au moyen âge, où l'usage du savon était inconnu, les gens riches déguisaient, à l'aide de parfums très-coûteux, les odeurs désagréables, émanant du corps ou des vêtements ; ils déployaient plus de luxe que nous, en festins, en habits, en chevaux ; mais quelle différence entre cette époque et la nôtre, où la malpropreté est devenue le signe le plus évident de la misère !

Le savon est un de ces produits dont la valeur, comme capital, disparaît peu à peu de la circulation, et a besoin d'être renouvelée ; il est, comme l'huile et le suif employés à l'éclairage, un de ceux qui se détruisent complétement par l'usage. Le verre cassé, les vieux chiffons, ont encore une certaine valeur ; mais l'eau de savon ne peut plus servir à rien. Il serait intéressant de connaître le montant des capitaux maintenus en circulation par les savonneries ; je suis persuadé qu'on les trouverait tout aussi élevés que les capitaux absorbés par le commerce du café, avec cette différence toutefois qu'ils ne sortent pas du pays, comme ces derniers.

Autrefois, la France payait annuellement à l'Espagne 20 ou 30 millions de francs pour sa soude, qui était la meilleure. Pendant les guerres avec l'Angleterre, le prix du savon et du verre s'éleva considérablement, et toutes les industries en souffrirent. Ce fut alors que Leblanc imagina un procédé pour obtenir la soude par le sel marin ; ce procédé, encore suivi aujourd'hui, fut pour la France une source de richesses. L'inventeur ne reçut pas la prime proposée par Napoléon pour cette

découverte, car la Restauration remplaça l'Empire; elle avait à acquitter des dettes plus pressantes, et celle contractée envers Leblanc se trouva prescrite.

La fabrication de la soude prit rapidement en France une extension extraordinaire, surtout dans les localités où se trouvaient les savonneries, et Marseille fut pour quelque temps en possession du monopole de ces deux industries. Par un concours rare de circonstances, la haine d'une population, irritée par la perte de sa principale source de revenus, comme l'avait été le commerce de la soude, profita au gouvernement qui succéda à Napoléon.

Pour convertir le sel marin en carbonate de soude, il faut d'abord, c'est là la marche de la fabrication, transformer le sel marin en sel de Glauber ou sulfate de soude. Cette opération exige, pour 100 kilog. de sel marin, environ 80 kilog. d'acide sulfurique concentré. Le gouvernement consentit volontiers à réduire au plus bas le prix du sel marin, et dès lors le prix de la soude se régla donc sur celui de l'acide sulfurique. Aussi la consommation de cet acide devint bientôt énorme, de tous côtés les capitaux affluèrent vers une industrie qui donnait de si beaux bénéfices; on étudia avec soin la formation de l'acide sulfurique, et, d'année en année, les procédés de fabrication devinrent meilleurs, plus simples et plus économiques. A chaque perfectionnement, on vit baisser le prix de l'acide sulfurique et s'accroître la consommation de ce produit.

Les appareils dans lesquels on prépare l'acide sulfurique sont en plomb, et la dimension en est aujourd'hui si grande, qu'ils représentent des chambres immenses où l'on pourrait aisément renfermer une mai-

son ordinaire à deux étages. Les perfectionnements apportés à cette fabrication ne laissent presque plus rien à désirer. Les lames de plomb des chambres sont soudées avec du plomb, (l'étain et les alliages seraient corrodées), et ce soudage coûtait autrefois presque autant que les plaques elles-mêmes; aujourd'hui, on les soude ensemble à l'aide du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, et cette opération est si simple qu'un enfant pourrait l'exécuter.

Suivant la théorie, 100 kilog. de soufre ne peuvent donner que 306 kilog. d'acide sulfurique; les fabriques sont arrivées à en obtenir 300 kilog., la perte se réduit donc à peu de chose.

Indépendamment du soufre, il est une autre substance, indispensable à la fabrication de l'acide sulfurique, et qui exerçait jadis une grande influence sur son prix de revient : c'est le salpêtre (nitrate de potasse). Il ne fallait, il est vrai, pour 10 kilog. de soufre, que 1 kilog. de salpêtre, mais celui-ci était quatre fois plus cher qu'un même poids de soufre. Sous ce rapport aussi les choses ont changé. Des voyageurs avaient découvert, près du petit port d'Yquique, dans le district d'Atakama au Pérou, des efflorescences salines extrêmement étendues, que l'analyse chimique fit reconnaître pour du nitrate de soude. Le commerce, qui de ses bras de polype étreint le globe entier, et cherche partout de nouveaux aliments pour l'industrie, s'empara bientôt de cette précieuse découverte : on trouva le nouveau sel en bancs inépuisables, sur une étendue de plus de 320 kilomètres carrés, et on en importa en Europe des quantités considérables, dont le transport ne coûta pas même la moitié de celui du salpêtre de

l'Inde (nitrate de potasse). Or, comme ce n'est ni la soude ni la potasse, mais l'acide nitrique qui intervient dans la production de l'acide sulfurique, on conçoit que le nitrate de soude (appelé aussi salpêtre du Chili) a dû immédiatement supplanter le nitrate de potasse. Ce dernier s'est donc trouvé presque entièremeut exclus du commerce. La fabrication de l'acide sulfurique a pris ainsi un nouvel essor, le prix en a éprouvé des baisses successives, sans préjudice pour les fabricants; il est enfin devenu tout à fait stationnaire, à part quelques fluctuations causées, pendant quelque temps, par l'interdiction de l'exportation du soufre de la Sicile.

On s'explique maintenant pourquoi la consommation du salpêtre a diminué : on ne l'emploie plus qu'à la fabrication de la poudre, et, si les gouvernements la font aujourd'hui avec plus d'économie, c'est bien certainement à la fabrication de l'acide sulfurique qu'ils en sont redevables.

Pour donner une idée de la quantité d'acide sulfurique qui se consomme, il me suffit de mentionner qu'une petite fabrique en verse, par an, dans le commerce, 250,000 kilog., qu'une fabrique moyenne en prépare 1 million de kilogrammes, et qu'il én est qui produisent jusqu'à 3 millions. Cette fabrication vaut chaque année, à la Sicile, des sommes énormes; elle a introduit l'industrie et le bien-être dans les districts incultes d'Atakama, elle offre aussi à la Russie un débouché pour son platine, car les chaudières où l'on concentre l'acide sulfurique sont faites de ce métal, et une seule chaudière coûte de 25 à 50 mille francs. Les belles verreries, les excellents savons, dont les prix baissent encore tous les jours, ne se fabriquent

plus avec des cendres, mais avec de la soude, et les cendres elles-mêmes sont devenues un engrais très-précieux pour nos champs et nos prairies.

Il nous serait impossible de suivre ici, un à un, tous les fils de cette curieuse trame industrielle; qu'il me soit permis cependant de mentionner encore quelques autres exemples de cet enchevêtrement des arts chimiques. Je viens de dire qu'avant de servir à la fabrication de la soude, le sel marin a besoin d'être converti en sulfate de soude : il suffit, pour cela, de traiter convenablement le sel marin par de l'acide sulfurique, et l'on obtient alors, comme produit accessoire, une quantité considérable d'acide hydrochlorique ou muriatique fumant, égalant une et demie et jusqu'à deux fois le poids de l'acide sulfurique employé, quantité qui, en somme, est énorme. Les bénéfices, donnés par la fabrication de la soude, étaient dans les premiers temps, si considérables, qu'on ne se donnait pas la peine de recueillir l'acide hydrochlorique; ce produit accessoire n'avait donc alors aucune valeur commerciale. Mais cet état de choses a changé depuis qu'on a reconnu les nombreuses applications dont l'acide hydrochlorique est susceptible.

Cet acide, en effet, est une combinaison du chlore; il n'y a pas d'autre composé qui fournisse le chlore avec autant de facilité, et à aussi peu de frais. On connaissait depuis longtemps l'action blanchissante du chlore sur les tissus, mais on n'avait jamais songé à utiliser cette propriété sur une grande échelle; on commença donc d'abord à faire du chlore avec l'acide hydrochlorique, et à employer ce gaz au blanchîment des étoffes de coton; plus tard on apprit à fixer le chlore

sur de la chaux, et à le mettre ainsi sous une forme qui en permet le transport à des distances considérables. On vit alors l'industrie cotonnière prendre un développement prodigieux ; sans le chlorure de chaux, elle n'eût peut-être pas atteint la hauteur où elle se trouve aujourd'hui, et, très-probablement, si les manufactures de l'Angleterre avaient été bornées à l'emploi de l'ancien procédé de blanchîment, elles n'eussent pas pu soutenir longtemps la concurrence de la France et de l'Allemagne. C'est que, dans l'ancien système, il fallait, avant tout, de grandes étendues de terrain, des prés bien exposés ; chaque pièce de coton avait besoin d'être longtemps soumise à l'action de l'air et de la lumière pendant les mois de l'été, et d'être constamment maintenue par les ouvriers dans un état d'humidité convenable. Aujourd'hui, une blanchisserie, qui ne compte pas encore parmi les plus considérables (par exemple, celle de M. Walter Crum, dans les environs de Glasgow), blanchit chaque jour, hiver et été, 1400 pièces de coton. Quelle somme coûterait l'achat du terrain, dans le voisinage d'une ville populeuse, s'il les fallait blanchir sur le gazon ! Les intérêts seuls du capital seraient si élevés qu'ils feraient énormément hausser le prix des étoffes en Angleterre, tandis que chez nous cette influence serait beaucoup moins sensible.

A l'aide du chlorure de chaux, on blanchit les cotonnades en peu d'heures et à très-peu de frais, et, si l'opération est faite par des ouvriers habiles et intelligents, les pièces souffrent bien moins que par le blanchîment sur le pré. Le blanchîment par le chlorure de chaux est même déjà adopté par les paysans de l'Odenwald, et ils y trouvent leur profit.

Grâce au bas prix de l'acide hydrochlorique, on l'emploie aussi, chose singulière, à extraire la gélatine des os. Les os se composent de gélatine, dont ils renferment, terme moyen, de 30 à 36 p. 100, et de phosphate de chaux ou terre d'os ; ce phosphate est très-soluble dans l'acide hydrochlorique faible, tandis que la gélatine n'en est pas sensiblement altérée. On abandonne, par conséquent, les os dans l'acide hydrochlorique, jusqu'à ce qu'ils soient devenus transparents et flexibles comme la peau la plus souple ; après les avoir ensuite débarrassés, par le lavage, de tout acide hydrochlorique, on obtient des morceaux de gélatine ou de colle-forte, ayant conservé la forme des os, et qu'il suffit de dissoudre dans l'eau chaude pour les utiliser à tous les besoins.

Voici encore une autre application fort importante de l'acide sulfurique, que nous ne saurions passer sous silence ; c'est son emploi à l'affinage de l'argent, et à l'extraction de l'or qui n'y manque jamais. On donne le nom d'affinage à l'opération qui a pour but de séparer l'argent du cuivre et d'obtenir ainsi l'argent pur ou l'argent fin. L'argent brut, tel que le fournissent les minerais, n'est qu'au titre de 500 ou 600 millièmes, et renferme par conséquent 500 ou 400 millièmes de cuivre ; l'argent de nos monnaies renferme bien moins d'alliage (celui de France est au titre de 900), et s'obtient, dans les ateliers monétaires, en alliant l'argent fin à une proportion déterminée de cuivre. L'argent brut a donc besoin d'être préalablement affiné. Autrefois cette opération se faisait par la liquation et par la coupellation avec du plomb, ce qui occasionnait beaucoup de frais, et l'argent ainsi purifié retenait $^1/_{1200}$ ou $^1/_{2000}$ d'or, qui

ne payait pas les frais, s'il eût fallu l'extraire par l'inquartation; cet or restait ainsi dans les monnaies et les bijoux, c'était une valeur tout à fait perdue, tout comme le cuivre contenu dans l'argent brut. Aujourd'hui, tout cela a bien changé. Le millième d'or, contenu dans l'argent brut, fait un peu plus de 1 $^1/_2$ p. 100 de la valeur de l'argent, ce qui, non-seulement couvre les frais de l'affineur, mais lui donne encore un fort joli bénéfice; aussi ne faut-il pas s'étonner quand l'affineur, auquel nous remettons de l'argent brut, nous rend, sans demander de rétribution, tout l'argent fin que l'essai y a constaté, ainsi que tout le cuivre : c'est que l'affineur se paye alors par l'or contenu dans l'argent.

L'affinage de l'argent, d'après la méthode nouvelle, est une des plus belles opérations chimiques. On fait bouillir dans l'acide sulfurique concentré le métal réduit en grains; l'argent et le cuivre se dissolvent alors, tandis que l'or reste, presque pur, sous la forme d'une poudre noire. La solution renferme du sulfate d'argent et de cuivre; cette liqueur est versée dans des chaudières en plomb, et laissée en contact avec de vieux cuivre. L'argent dissous se sépare alors d'une manière complète, tandis qu'une quantité équivalente de cuivre entre en dissolution; finalement on a donc de l'argent métallique pur, et du vitriol bleu qui est d'une grande valeur commerciale, car il sert, entr'autres, à préparer des couleurs bleues et vertes.

Nous dépasserions les limites d'une simple esquisse si nous voulions épuiser toute la liste des applications dont sont susceptibles l'acide sulfurique, l'acide muriatique et la soude. Certes, sans les perfectionnements extraordinaires, apportés à la fabrication de l'acide sul-

furique, nous n'aurions pas aujourd'hui les bougies stéariques, ni ces allumettes à friction si commodes et si économiques. Les prix actuels de l'acide sulfurique, de l'acide muriatique, de l'acide nitrique, de la soude, du phosphore auraient, il y a 25 ans, passé pour fabuleux. Qui peut, d'ailleurs, prévoir les applications nouvelles que 25 autres années viendront y ajouter ?

On voit, par ce qui précède, que je n'exagère pas en affirmant qu'on peut apprécier l'état des industries chimiques d'un pays, en déterminant le nombre des kilogrammes d'acide sulfurique consommés par lui. Aucune autre fabrication ne mérite davantage de fixer l'attention des gouvernements. Les mesures extrêmes dont l'Angleterre avait résolu d'user envers Naples, à propos du commerce des soufres, avaient été provoquées tout simplement par l'influence oppressive qu'auraient exercé les prix élevés du soufre sur la fabrication des indiennes, du savon et du verre. Il faut songer que l'Angleterre approvisionne, en grande partie, de verre et de savon, l'Amérique, l'Espagne, le Portugal, l'Orient, les Indes ; qu'elle reçoit, en échange, du coton, de la soie, du vin, des raisins secs, de l'indigo ; que Londres, siége du gouvernement, est en même temps le principal entrepôt du commerce des vins et de la soie. On s'explique, d'après cela, pourquoi le gouvernement anglais a eu tant à cœur de faire supprimer le monopole des soufres. Au reste, il était temps pour la Sicile qu'un état de choses, si contraire à ses véritables intérêts, vînt à cesser ; car, pour peu que ce monopole eût été maintenu encore quelques années, le soufre, qui est aujourd'hui pour ce royaume la principale source de richesses, eût fini par perdre toute sa

valeur. C'est que la science et l'industrie forment aujourd'hui une puissance à laquelle rien ne résiste, et un observateur attentif aurait pu préciser l'époque où l'exportation du soufre de la Sicile eût dû s'arrêter. On avait pris en Angleterre jusqu'à quinze brevets pour des procédés, ayant tous pour objet de regagner le soufre, employé à la fabrication de la soude, et de le transformer de nouveau en acide sulfuriqne; avant le monopole, personne n'y avait songé. Ces quinze procédés n'eussent pas tardé à se perfectionner, et, les esprits les plus prévenus en conviendront, cela eût réagi sur le commerce du soufre. En effet, le plâtre ou sulfate de chaux, le spath pesant ou sulfate de baryte, nous offrent des montagnes entières d'acide sulfurique; dans la galène ou sulfure de plomb, dans la pyrite ou sulfure de fer, nous avons aussi des masses inépuisables de soufre. Quand les prix du soufre vinrent à hausser, on songea à extraire le soufre de ces produits naturels pour les besoins du commerce; on se préoccupa de procédés économiques qui pussent faire servir ces matériaux à la fabrication de l'acide sulfurique. Déjà, quand le prix du soufre était fort élevé, on réussit à obtenir, avec la pyrite, des milliers de quintaux d'acide sulfurique; on aurait fini par prendre le plâtre lui-même; sans doute, il eût fallu vaincre bien des difficultés, mais enfin on en serait venu à bout. A cette heure, l'impulsion est donnée, la possibilité du succès est démontrée.

Qui peut prévoir les suites fâcheuses que de fausses spéculations financières pourront avoir pour Naples en peu d'années! Il lui arrivera sans doute comme à la Russie qui, par son système prohibitif, a complétement ruiné son commerce de suif et de potasses. Ce n'est

qu'à la dernière extrémité que nous allons acheter des marchandises dans un pays qui exclut de ses marchés nos propres productions. Au lieu d'employer des millions de quintaux de suif et d'huile de chenevis, l'Angleterre consomme aujourd'hui la même quantité d'huile de palme et de coco, mais elle ne la tire pas deRussie.

De même que les coalitions des ouvriers contre les fabricants, dans le but d'une augmentation de salaires, ont provoqué l'invention de machines admirables qui ont rendu leurs bras inutiles; de même aussi, dans le commerce et dans l'industrie, toute imprudence porte avec elle sa peine, tout acte d'oppression, tout système prohibitif réagit immédiatement sur le pays d'où il émane (1).

(1) M. Liebig me permettra de lui faire observer ici que ses idées de droit et d'équité sont peut-être de mise en Autriche, mais qu'elles paraîtront peu acceptables en France, et à tous les hommes de cœur. Comment, un ouvrier n'a pas de quoi nourrir sa femme et ses enfans, et, pour lui apprendre à vivre, pour l'empêcher de se coaliser contre ceux que son travail engraisse et enrichit, vous voulez que les machines viennent *rendre ses bras inutiles !*

Mais dites donc plutôt aux fabricants de prévenir les coalitions, en gagnant un peu moins sur le travail du pauvre peuple, et en lui laissant ainsi cette part de soleil et de bien-être à laquelle toutes les créatures ont également droit.

Vous avez raison, M. Liebig, en vous exprimant, comme vous le faites, contre tout acte d'oppression, contre tout système prohibitif. Mais il faudrait aussi pratiquer vous-même les principes que vous prêchez ; il ne faudrait pas exercer dans la science cette inquisition puérile qui cherche à étouffer, au seuil de votre laboratoire, toute idée n'émanant pas de vous, toute opinion différant de la vôtre ; il ne faudrait pas surtout, comme l'a si bien dit un chimiste hollandais de votre connaissance, « ressembler à ce « bourreau qui attache les hérétiques à la potence, et les flagelle « pour leur faire abjurer leur foi. » C. G.

DIXIÈME LETTRE.

Connexion entre la théorie et la pratique. — Emploi du magnétisme comme force motrice. — Rapports entre le charbon et le zinc comme sources de force motrice.—La fabrication du sucre de betteraves est impolitique. — Gaz de l'éclairage.

C'est un grand bonheur pour l'humanité, vous en conviendrez avec moi, que toute idée nouvelle, ayant pour but la création d'une machine utile ou le perfectionnement d'une industrie, rencontre aussitôt des hommes tout prêts à consacrer leurs forces, leurs talents, leur fortune même, pour la réaliser; car alors même que cette idée serait inexécutable, alors même que plus tard elle serait reconnue absurde, toutes ces tentatives infructueuses n'en conduiraient pas moins à d'autres résultats souvent utiles et importants. Il en est de l'industrie, comme des investigations scientifiques, où les théories provoquent des recherches. En travaillant, on arrive toujours à des découvertes : au lieu des lignites qu'on a cherchées, on trouve des bancs de sel; on cherche du fer, et les fouilles mettent à découvert des métaux beaucoup plus précieux.

C'est ainsi que, depuis quelque temps, on attend des merveilles de l'électro-magnétisme, on espère le voir mettre en mouvement les locomotives de nos che-

mins de fer, avec des frais presque nuls; alors l'Angleterre perdra sa suprématie comme puissance manufacturière, ses charbons ne lui servant plus. Nous avons, disent les Allemands, le zinc à vil prix, et il n'en faudra que bien peu pour faire mouvoir un tour, et par conséquent toute autre machine!

Tout cela est beau et séduisant, j'en conviens, mais ce sont des illusions, provenant de ce qu'on n'a pas pris la peine d'établir des comparaisons. Il suffit d'une petite lampe à alcool, placée sous un vase convenable rempli d'eau bouillante, pour mettre en mouvement une petite voiture de 100 à 150 kilog., ou pour soulever à une hauteur de 6 mètres un poids de 40 à 50 kilog.; cet effet s'obtient aussi avec un morceau de zinc qu'on fait dissoudre au moyen de l'acide sulfurique dans des appareils particuliers. C'est là certainement une découverte fort curieuse, mais la question principale est toujours de savoir lequel des deux moyens est le plus économique.

Pour bien comprendre le sens de cette question, il faut d'abord se rappeler ce que les chimistes entendent par équivalents. Ce sont, comme nous l'avons dit, des quantités numériques invariables, indiquant des effets proportionnels. S'agit-il, par exemple, de produire un certain effet avec de l'oxygène, il m'en faut, je suppose, 8 kilog.; si je veux produire le même effet avec du chlore, il me faudra de celui-ci 35,4 kilog., ni plus ni moins; de même, 6 kilog. de charbon sont l'équivalent de 32 kilog. de zinc. Ces nombres expriment d'une manière générale les effets relatifs de toutes les actions dont les corps sont susceptibles.

Quand nous mettons du zinc, uni d'une certaine ma-

nière à un autre métal, en contact avec de l'acide sulfurique étendu, le zinc se dissout à l'état d'oxyde; il brûle aux dépens de l'oxygène offert par le liquide conducteur ; cette action chimique a pour conséquence la formation d'un courant électrique, qui, dirigé par un fil de métal, rend celui-ci magnétique.

La dissolution d'un kilog. de zinc produit une certaine somme de force, qui nous permet, par exemple, de soulever un poids de fer à 1 décimètre de hauteur, et de le tenir suspendu d'autant plus longtemps que la dissolution se sera effectuée dans un temps plus court. De plus, nous pouvons, en interrompant et en rétablissant alternativement le contact du zinc avec l'acide, ou en renversant cet effet, déterminer dans le poids de fer un mouvement de va-et-vient ou un mouvement de haut en bas, c'est-à-dire que nous pouvons réaliser toutes les conditions nécessaires au mouvement d'une machine.

Mais une force ne peut pas naître de rien. Dans l'exemple qui nous occupe, nous la voyons se produire par la dissolution ou l'oxydation du zinc; abstraction faite du nom donné à cette force dans le cas cité, il est certain que le même effet peut aussi se produire d'une autre manière. Si, au lieu de brûler le zinc dans la pile galvanique, nous l'avions brûlé sous la chaudière d'une machine à vapeur, c'est-à-dire dans l'oxygène de l'air, nous eussions déterminé la formation d'une certaine quantité de vapeur d'eau, et conséquemment la production d'une certaine somme de force motrice. Or, admettons, ce qui est loin d'être démontré, qu'il y ait une différence entre les quantités de force produites dans les deux cas; que la pile, par exemple, en ait donné deux ou trois fois plus que l'emploi du charbon,

ou, si l'on veut, qu'elle ait fait perdre moins de force, il n'en est pas moins vrai que le zinc peut être exprimé en équivalents de charbon. Suivant les expériences de M. Despretz, 6 kilog. de zinc, en se combinant avec l'oxygène, ne produisent pas plus de chaleur que 1 kilog. de charbon ; on peut donc, les circonstances restant les mêmes, produire avec 1 kilog. de charbon six fois plus de force qu'avec le même poids de zinc. Si les pertes de force sont les mêmes des deux côtés, il serait donc plus avantageux d'employer du charbon que du zinc, lors même que ce dernier développerait quatre fois plus de force qu'un même poids de charbon, brûlant sous la chaudière à vapeur. En un mot, en brûlant sous la chaudière à vapeur, le charbon qui serait nécessaire à l'extraction du zinc de ses minerais, nous produirons très-probablement bien plus de force qu'avec le zinc lui-même, sous quelque forme et dans quelque appareil que nous l'employions.

La chaleur, l'électricité et le magnétisme sont entre eux dans des rapports semblables à ceux que présentent les équivalents de charbon, de zinc et d'oxygène. Une quantité déterminée d'électricité donne des quantités correspondantes ou équivalentes de chaleur et de force magnétique ; cette quantité d'électricité, je l'achète moyennant de l'affinité chimique, laquelle, dépensée sous l'une des formes, fait naître de la chaleur, et, sous l'autre, de l'électricité ou du magnétisme. Avec une certaine somme d'affinité, nous produisons un équivalent d'électricité, de la même manière qu'une certaine quantité d'électricité détermine la décomposition d'un équivalent d'une combinaison chimique ; la dépense pour produire la force magnétique est donc

représentée par la dépense que nécessite la manifestation de l'affinité chimique. Dans l'un des cas, c'est le zinc et l'acide sulfurique qui produisent cet effet chimique ; dans l'autre, ce sont les charbons placés dans un courant d'air convenable.

Il est très-vrai qu'avec une très-faible dépense de zinc, on peut convertir une barre de fer en un aimant assez fort pour porter 500 kilog.; mais il ne faut pas s'exagérer l'importance de ce fait, car avec le même aimant, nous ne serions pas en état de soulever à 1 décimètre de hauteur un seul kilogr. de fer, c'est-à-dire de lui communiquer du mouvement. Cet aimant agit comme un roc en repos qui presserait sur un support avec un poids de 500 kilog.; c'est un lac sans issue ni chute. Je sais fort bien que, grâce aux efforts de la mécanique, on a su donner à ce lac de l'écoulement et de la chute; je ne doute pas non plus des progrès que l'avenir nous réserve encore sous ce rapport, mais il n'en est pas moins vrai que, même en laissant de côté la machine à vapeur, la plus faible de nos machines lui est supérieure, et qu'aujourd'hui encore une livre de charbon, brûlée sous une chaudière à vapeur, peut mettre en mouvement un poids plusieurs cents fois plus fort que le poids mis en mouvement par la dissolution d'une livre de zinc dans la pile galvanique (1).

(1) D'après une note insérée dans le supplément de la *Gazette universelle*, n° 214, M. Jacobi a construit une machine qui peut mettre en mouvement une chaloupe portant 12 hommes, et dont l'effet a été évalué égal à 1200 kilog., élevés à 32 centimètres en une minute. Cet effet n'égale pas même celui de la plus faible machine à vapeur; car il n'est que les $^4/_5$ de la force d'un cheval (250 kilog. élevés à 32 c. en une seconde).

Toutefois, nos expériences sur l'emploi de l'électro-magnétisme comme force motrice, sont encore trop récentes, pour permettre d'en prévoir toutes les applications. Que les hommes qui se préoccupent de ces recherches, ne se laissent point décourager : lors même qu'elles ne conduiraient qu'à écarter les dangers qu'entraînent les machines à vapeur, ce serait déjà un grand bénéfice, les frais dussent-ils même s'élever au double.

Il y aurait une autre manière d'utiliser l'électro-magnétisme sur nos chemins de fer : ce serait d'imaginer une disposition convenable pour transformer à volonté les roues des locomotives en aimants puissants, de manière à pouvoir ainsi gravir avec facilité toutes les hauteurs. Cette idée, mise en avant par M. Weber, de Goettingue, portera certainement ses fruits. Il en sera peut-être un jour de la pile galvanique comme force motrice, comme de la fabrication du sucre indigène ou de celle du gaz de l'éclairage par l'huile ou le charbon de terre.

La fabrication du sucre de betteraves a vraiment atteint les dernières limites du possible. Au lieu d'un sucre visqueux, ayant l'odeur de la betterave, on fabrique aujourd'hui le plus beau sucre raffiné, et tandis qn'Achard n'en obtenait que 3 ou 4 p. 100, on en extrait aujourd'hui le double et même le triple. Malgré tous ces perfectionnements, cette belle industrie ne saurait se maintenir bien longtemps. De 1821 à 1827, les circonstances étaient bien différentes ; alors le malter de blé ne coûtait pas plus de 6 florins, le prix du klafter de bois ne dépassait pas 10 florins, de plus les terrains étaient en baisse. Le prix du sucre n'était pas plus bas qu'aujourd'hui. Enfin, à cette époque, il y avait de l'a-

vantage à planter des betteraves et à vendre du sucre au lieu de blé ; on avait à bon marché les betteraves et le combustible, la vente du sucre était illimitée. Tout cela a bien changé depuis. Le blé coûte aujourd'hui 10 florins, le bois, 18 à 20 florins, la main d'œuvre a aussi augmenté, tandis que le sucre exotique, loin de monter, a baissé en prix. Dans la circonscription de l'association douanière, à Francfort, par exemple, on achète la livre du plus beau sucre blanc à 21 kreutzers (environ 75 centimes) ; déduction faite des droits d'entrée (10 thalers par quintal), on voit qu'au dehors le sucre raffiné ne coûte que 10 kreutzers la livre.

Si nous comparons maintenant entre elles ces différentes données, nous voyons qu'en 1827 on pouvait avoir, pour le prix d'un malter de blé, 40 liv. de sucre brut (à 9 kreutzers la livre), tandis qu'aujourd'hui la même quantité de blé vaut le prix de 70 liv. de sucre. Si le prix du combustible était resté le même, il faudrait, pour conserver les mêmes bénéfices, extraire aujourd'hui 70 liv. de sucre de la quantité de betteraves qui n'en donnait en 1827 que 40 liv. ; à cette époque, le maximum de rendement s'élevait à 5 p. 100, aujourd'hui il ne dépasse pas 6 ou 7 p. 100, et cependant le prix du combustible a considérablement augmenté. Malgré les nombreux perfectionnements apportés à la fabrication, toutes ces différences ne sont pas compensées, et les circonstances sont aujourd'hui telles, qu'il est plus avantageux de cultiver du blé et d'acheter le sucre.

Tant que la fabrication du sucre de betteraves n'était qu'une branche de l'économie agricole, elle pouvait soutenir la concurrence avec le sucre des colonies ; les

feuilles, la pulpe des betteraves, s'employaient alors comme nourriture pour les bestiaux, et leur valeur augmentait naturellement avec le prix des céréales ; mais, depuis que cette fabrication est devenu un objet de spéculation commerciale, elle doit nécessairement périr.

D'après le procédé Schuzenbach, adopté avec tant d'empressement par les spéculateurs, il faut faire d'abord une certaine dépense de combustible, pour enlever toute l'eau des betteraves, puis on emploie de nouvelle eau pour lessiver les betteraves desséchées ; l'évaporation de cette dernière exige une autre dépense de combustible ; finalement, on a un résidu tout à fait impropre à la nourriture des bestiaux et qui, tout au plus, peut servir comme engrais.

Établissons maintenant un petit calcul. Le procédé, employé par les agronomes, donne, pour 100 liv. de betteraves, 75 liv. de jus, fournissant 5 liv. de sucre. Admettons que le procédé Schuzenbach fournisse 8 liv. de sucre pour 100 de betteraves, il est évident que la dessiccation de ces betteraves exige l'évaporation de 86 liv. d'eau en moyenne ; de plus, la lixiviation complète du résidu desséché exige 20 liv. d'eau, lesquelles ont besoin à leur tour d'être évaporées ; en somme, 86 + 20 ou 106 liv. de liquide donnent 8 liv. de sucre, ce qui, pour 70 liv. de liquide à évaporer, fait un peu plus de $^5/_4$ liv. de sucre. Le même poids de betteraves donne, il est vrai, 3 liv. de sucre de plus, mais cet excédant sert à couvrir tous les frais de fabrication, et, d'ailleurs il faut l'acheter aux dépens de la pulpe dont on perd, à mon sens, toute la valeur, de sorte qu'en définitive cet excédant revient plus cher que si l'on achetait en betteraves.

Aujourd'hui l'argent ne fait plus la richesse des nations. Si la vallée du Rhin possédait des mines de diamants aussi riches que celles de Visapour, de Golconde ou du Brésil, il est probable qu'elles ne vaudraient pas la peine d'être exploitées ; c'est que, chez nous, les frais d'extraction qui ne s'élèvent dans ces localités qu'à 17 ou 18 florins par karat, seraient trois ou quatre fois plus forts.

Quand les salaires sont très-bas, on voit, dans le grand-duché de Bade, les pauvres gens s'occuper à laver les sables du Rhin, pour en extraire les paillettes d'or que le fleuve charrie ; mais cette industrie cesse aussitôt que les salaires s'élèvent, et n'offre plus par conséquent les mêmes avantages.

On peut en dire autant de l'industrie sucrière. Il y a douze ou quatorze ans, la fabrication du sucre de betteraves offrait des bénéfices qui sont nuls aujourd'hui ; au lieu de la soutenir par d'énormes sacrifices, il serait plus raisonnable, et plus conforme aux intérêts nationaux, de cultiver d'autres produits plus avantageux, en échange desquels on se procurerait du sucre. En France et en Bohême les prix du sucre et du combustible ne sont pas les mêmes que chez nous ; je ne puis donc pas appliquer à ces deux pays l'opinion que je viens d'émettre relativement à l'Allemagne.

Une autre branche d'industrie, la fabrication du gaz de l'éclairage par la houille, la résine ou les huiles, se trouve aussi placée en Allemagne, dans un terrain tout aussi stérile. En Angleterre, le prix des matériaux servant à l'éclairage, sont en rapport direct avec le prix du blé ; le suif et l'huile représentent, sous d'autres formes, la nourriture des bestiaux et les revenus du

sol; l'huile et le suif y sont deux fois plus chers que chez nous, le fer et le charbon de deux tiers meilleur marché, et même la fabrication du gaz ne présente de l'avantage en Angleterre, que dans les cas où le coke (le charbon distillé) trouve à se vendre.

Ce serait certes une des plus belles découvertes de notre siècle, si l'on parvenait à condenser le gaz de la houille en un corps blanc, solide, sec, sans odeur, susceptible d'être fixé sur un flambeau et transporté d'un lieu en un autre, ou bien, en une huile liquide, incolore, sans odeur, et qu'on pût brûler dans les lampes. La cire, le suif et l'huile sont des gaz inflammables, réduits à l'état solide ou liquide, et qui nous offrent des avantages qu'on ne rencontre pas dans le gaz de l'éclairage; brûlés dans des lampes bien construites, ces substances répandent la même lumière, et avant de brûler, elles se réduisent toutes à l'état de gaz, sans exiger des appareils particuliers, comme ceux des usines à gaz. Le prix élevé du gaz se trouve compensé, il est vrai, dans certains cas, par exemple, dans l'éclairage des grandes villes, des hôtels, où se présente beaucoup de déchet et de frais d'entretien, et même alors c'est la vente du coke qui donne une grande partie du bénéfice; toutes les fois que le coke est sans débouché, il faut s'attendre à des pertes. Dans les localités, comme Francfort-sur-le Mein, où l'on prépare le gaz avec de la résine, avec de l'essence de térébenthine ou avec d'autres huiles à vil prix, la fabrication présente de l'avantage tant que ce mode d'éclairage n'est employé que sur une petite échelle. Si d'autres villes plus grandes en faisaient usage, la conséquence immédiate en serait la hausse du prix des

matières premières. Toute l'essence de térébenthine qui circule dans le commerce suffirait à peine à l'éclairage de deux villes comme Berlin et Munich ; il n'est guère possible, d'ailleurs, de baser un calcul sur les prix actuels de ces matières, dont l'extraction ne saurait jamais être un objet d'industrie.

L'éclairage, le plus avantageux pour la Hesse électorale, pourrait se réaliser au moyen de l'excellent charbon de Schmalkalde, et cependant ce mode d'éclairage y est entièrement inconnu. Au lieu de convertir le charbon en coke dans le voisinage des mines, comme on le fait encore à cette heure, et de perdre ainsi tout le gaz, il serait sans doute plus avantageux de transporter à Cassel le charbon non distillé, de l'y transformer en coke, et d'utiliser alors le gaz à l'éclairage de la ville.

ONZIÈME LETTRE.

Isomérie, ou identité de composition dans les corps qui diffèrent par leurs propriétés physiques ou chimiques. — Cristallisation. — Amorphisme. — Isomorphisme, ou égalité de forme dans les corps de composition différente.

La forme et l'aspect, sous lesquels les corps se présentent à nos yeux, la couleur, la transparence, la dureté, en général les propriétés physiques des corps, ont été longtemps considérées comme dépendant de la nature de leurs éléments et de leur composition. Il y a quelques années encore, on ne pensait pas qu'un seul et même corps pût se présenter dans deux états différents, et il semblait que deux corps, ayant les mêmes éléments unis dans les mêmes proportions, dussent toujours présenter les mêmes propriétés. Comment, sans cela, les plus profonds penseurs auraient-ils pu considérer la combinaison chimique comme une pénétration de la matière, et la matière elle-même comme pouvant se diviser à l'infini ! C'était là une erreur des plus graves. Si la matière se composait effectivement de particules infiniment petites, elle serait impondérable, et un milliard de semblables particules, placées ensemble, ne pourrait pas peser plus que chaque particule infiniment petite. Même au point de vue mathématique,

les particules de la matière impondérable qui détermine sur notre rétine la sensation de la lumière, ne peuvent pas être considérées comme infiniment petites.

Une pénétration des particules supposerait que, dans une combinaison chimique, les composants *a* et *b* occupent une seule et même place ; dans cette hypothèse, il ne serait donc pas possible d'admettre une différence de propriétés dans des corps de même composition.

Cette doctrine a partagé le sort des autres doctrines de l'ancienne philosophie naturelle; elle est tombée sans que personne songeât à la relever. C'est que les vérités, acquises par l'observation, ont une puissance à laquelle rien ne résiste. On a, en effet, découvert, dans le règne organique, un grand nombre de combinaisons qui, tout en ayant la même composition, ont des propriétés bien différentes; elles ont reçu le nom de *substances isomères*. L'essence de térébenthine, l'essence de citron, l'essence de copahu, l'essence de romarin, l'essence de genièvre, et une foule d'autres huiles essentielles, si différentes par leur odeur, par leurs propriétés médicamenteuses, par leur point d'ébullition, renferment exactement les mêmes proportions de carbone et d'hydrogène.

Quelle simplicité admirable dans la nature organique! Avec les mêmes poids de deux corps différents, elle crée les combinaisons les plus variées. Il est des corps, comme par exemple la partie cristallisable de l'essence de roses, qui, solides à la température ordinaire et capables de se volatiliser, possèdent cependant la même composition que le gaz brûlant dans nos lampes; que dis-je, la même composition qu'une dou-

zaine d'autres corps, tous de propriétés bien différentes.

Ces découvertes, si importantes quant aux conséquences, n'ont pas été acceptées sans avoir été suffisamment vérifiées. On connaissait, depuis longtemps, des faits isolés de ce genre, mais ils étaient restés dispersés dans le vaste domaine de la science, jusqu'à ce qu'enfin on trouvât des corps doués de propriétés entièrement différentes, et dont l'identité de composition pouvait se démontrer par un procédé beaucoup plus concluant que l'analyse : on pouvait, à volonté, convertir ces corps les uns dans les autres.

L'acide cyanurique, l'acide cyanique et la cyamélide sont trois corps de cette espèce. Le premier est soluble dans l'eau, cristallisable, et capable de former des sels avec les oxydes métalliques; l'acide cyanique constitue un liquide volatil, extrêmement caustique, incapable de se mélanger à l'eau sans se décomposer; la cyamélide est une masse blanche, insoluble dans l'eau, et de l'aspect de la porcelaine. Si l'on expose l'acide cyanurique, dans un tube de verre fermé, à une température élevée, il se convertit en acide cyanique, et celui-ci se convertit, à la température ordinaire, en cyamélide, sans qu'aucun élément s'élimine, ni vienne s'y fixer.

On peut donc transformer à volonté la cyamélide en acide cyanurique ou en acide cyanique. De semblables rapports s'observent entre l'aldéhyde, le métaldéhyde et l'élaldéhyde, l'urée et le cyanate d'ammoniaque; ces corps peuvent se métamorphoser l'un dans l'autre, sans l'intervention d'aucune autre substance.

Ces phénomènes ne s'expliquent qu'en admettant que

la matière ne peut pas se diviser à l'infini, mais se compose d'atomes insécables. Lorsqu'une combinaison chimique a lieu, ces atomes ne se pénètrent pas, mais ils se groupent dans un certain ordre, et c'est de cet ordre que dépendent les propriétés du produit. Les atomes viennent-ils à changer de place, par suite d'une perturbation extérieure, ils se grouperont dans un ordre nouveau, et produiront ainsi un corps nouveau, doué de propriétés différentes. Un atome d'un corps peut s'unir à un atome d'un autre corps, deux atomes peuvent s'unir à deux, quatre atomes à quatre, huit atomes à huit, pour former un atome composé; la composition centésimale de toutes ces combinaisons est absolument la même, mais elles diffèrent sous le rapport des propriétés chimiques parce que l'atome composé renferme tantôt deux, tantôt quatre, tantôt huit ou seize atomes simples.

Les découvertes précédentes sont devenues la source d'une foule de belles observations et ont dévoilé, d'une manière bien naturelle, un grand nombre de mystères. Ainsi, elles ont conduit à des idées nouvelles sur l'*amorphisme*, c'est-à-dire sur l'état particulier des corps, où ils ne sont pas cristallisés.

Dans un liquide, en voie de cristalliser, on observe un mouvement continuel; comme si les molécules constituaient des aimants, on les voit se repousser dans un sens, et s'attirer dans un autre pour se juxtaposer; peu à peu, elles donnent naissance à une forme régulière qui est toujours la même, si l'on opère dans les mêmes circonstances. Mais cette cristallisation n'a pas toujours lieu dans le passage d'un liquide ou d'un gaz à l'état solide. La cristallisation exige du mouvement et du

temps; si l'on oblige un liquide ou un gaz à se solidifier subitement, si l'on ne laisse pas aux molécules le temps de se grouper dans les directions où l'attraction (la force de cohésion) est la plus forte, il ne se forme pas de cristaux; le produit réfractera autrement la lumière, il aura une autre couleur, il possédera une dureté, une cohérence différentes.

C'est ainsi qu'il existe du cinabre rouge et du cinabre tout à fait noir; on a du soufre solide et dur, et du soufre transparent, mou, pouvant s'étirer en fils; le verre peut s'obtenir sous la forme d'un corps opaque, d'un blanc laiteux, et d'une dureté telle qu'il fait feu au briquet, tandis qu'ordinairement il est transparent et d'une cassure conchoïde.

Ces états si différents de la matière proviennent de ce que, dans l'un des cas, les atomes sont groupés régulièrement, et, dans l'autre, sans ordre; l'une des modifications est amorphe, l'autre est cristallisée.

On a tout lieu de croire que le schiste argileux, certaines variétés de grauwacke, ne sont autre chose que du feldspath, du micaschiste ou du granit amorphes; de même, il est probable que le calcaire de transition est du marbre amorphe, que le basalte et la lave sont des mélanges de zéolithes et de pyroxène amorphes.

Toutes les circonstances qui influent sur la cohésion doivent nécessairement modifier, jusqu'à un certain degré, les propriétés des corps. Le carbonate de chaux cristallisé à froid possède la forme, la dureté et le pouvoir réfringent des spaths calcaires; cristallisé à chaud, il présente la forme et les propriétés de l'arragonite.

Si l'on rapproche les faits précédents de ceux que nous offre l'isomorphisme, si l'on considère l'identité

de forme de beaucoup de combinaisons chimiques ayant une composition semblable, on est naturellement conduit à envisager la matière comme composée d'atomes dont le mode de groupement détermine les propriétés des corps. On peut même se demander si certains corps, comptés parmi les éléments, ne seraient pas des modifications d'une seule et même substance, s'ils ne renfermeraient pas la même matière dans un groupement atomique différent. On sait, du moins, que le fer, par exemple, présente deux états différents. Ainsi, dans le circuit voltaïque, le fer se comporte tantôt comme le platine, tantôt comme le zinc; on a même pu, avec ce métal seul, construire les piles les plus puissantes. Certains corps simples, comme le platine et l'iridium, le chlore, le brome et l'iode, le fer, le manganèse et le magnésium, le cobalt et le nickel, le phosphore et l'arsenic se ressemblent singulièrement sous le rapport de leurs propriétés; mais on oublie, en général, que cette communauté de caractères ne s'étend qu'à des combinaisons qui se correspondent. Celles-ci ne sont semblables que parce qu'elles se composent d'atomes groupés de la même manière. Le nitrate de strontiane n'est plus le même quand il a fixé un certain nombre d'atomes d'eau.

Si le sélénium n'est que du soufre modifié, si le phosphore n'est que de l'arsenic d'une modification particulière, comment se fait-il cependant que l'acide phosphorique et l'acide arsénique, l'acide sulfurique et l'acide sélénique, donnent des combinaisons dont la forme, la solubilité, etc., sont absolument les mêmes? Si ces combinaisons étaient isomères, elles devraient précisément manifester des propriétés différentes.

Dans l'état actuel de la science, nous n'avons aucun motif de croire qu'un élément puisse se convertir en un autre; une semblable transmutation supposerait dans un élément l'existence de deux ou de plusieurs parties composantes, et tant qu'on n'aura pas réussi à décomposer les éléments, toutes ces prétendues transformations ne sauraient avoir le moindre fondement. Ainsi, par exemple, M. Brown, d'Édimbourg, prétendait avoir transformé le fer en rhodium, le paracyanogène en silicium ; il suffit de lire le travail, publié à ce sujet, dans les Transactions de la Société royale d'Édimbourg, pour avoir la certitude que l'auteur est entièrement étranger aux principes de l'analyse chimique ; l'expérience a d'ailleurs confirmé l'erreur de ses assertions, en démontrant que son rhodium n'était que du fer, et son silicium, du charbon impur, difficile à brûler.

DOUZIÈME LETTRE.

Influence des forces mécaniques sur la formation et sur la décomposition des combinaisons chimiques. — Action de la chaleur sur l'affinité. — Composition compliquée des substances organiques comparativement à celle des substances minérales. — Causes de la prompte décomposition de ces dernières. — Chaleur, cause déterminante de la forme des combinaisons minérales. — Chaleur, lumière, et surtout force vitale, causes déterminantes de la forme des combinaisons organiques.

Ni la chaleur, ni l'électricité, ni la force vitale ne sont capables d'associer, en un groupe, les molécules de deux matières hétérogènes, de les réunir en une combinaison; la force chimique seule a ce pouvoir.

Partout, dans la nature organique, dans toutes les combinaisons engendrées par l'organisation animale ou végétale, on rencontre les mêmes lois, les mêmes proportions fixes et invariables, que dans la nature minérale.

La substance du cerveau et des muscles, les principes du sang, du lait, de la bile, etc., constituent des molécules composées, dont la formation et l'existence reposent sur l'affinité chimique, active en elles. C'est donc l'affinité qui en détermine la combinaison; placées en dehors du corps vivant, soustraites à l'influence de la force vitale, elles n'obéissent plus

qu'aux forces chimiques ; c'est de la direction et de l'intensité de ces forces que dépend la résistance plus ou moins grande opposée par les molécules aux agents extérieurs qui tendent à neutraliser l'attraction chimique.

Mais la lumière, la chaleur, la force vitale, la pesanteur exercent une influence incontestable sur le nombre et sur le mode de groupement des atomes simples, qui s'unissent pour former un atome composé ; par cela même qu'elles ont le pouvoir de communiquer le mouvement aux atomes en repos ou d'en arrêter le mouvement, ces forces déterminent la nature des propriétés dans les combinaisons chimiques.

La lumière, la chaleur, la force vitale, l'électricité, la force magnétique, la pesanteur se manifestent donc comme causes de mouvement ou de résistance, et sont capables, comme telles, de changer la direction et l'intensité de la force chimique, d'en exalter, d'en affaiblir ou même d'en détruire les effets.

Un simple mouvement mécanique suffit pour imprimer une direction définie à la force de cohésion des corps qui cristallisent, et pour modifier la direction de l'affinité dans les combinaisons chimiques. On peut refroidir l'eau bien au-dessous de son point de congélation, sans qu'elle cristallise, et il suffit alors de la toucher avec la pointe d'une aiguille pour la transformer instantanément en une masse de glace solide. La formation des cristaux exige que les molécules des corps se trouvent en mouvement ; il faut qu'elles changent de place, de position, pour pouvoir se grouper dans la direction où leurs affinités sont le plus fortes. Il y a une foule de solutions salines qui, saturées à chaud, ne

déposent pas de cristaux, si on les maintient dans un repos absolu; mais un grain de poussière ou de sable suffit alors pour déterminer la cristallisation. Dès que l'impulsion est donnée, elle se propage d'elle-même, la molécule ébranlée communique le mouvement à la molécule voisine, et il se continue ainsi, de proche en proche, dans toutes les molécules.

Si l'on met du mercure métallique dans une solution de foie de soufre, la surface du métal se couvre aussitôt de sulfure de mercure noir et amorphe, dont la quantité augmente à mesure qu'on enlève la partie transformée. Si l'on fixe le flacon bien bouché, contenant ce mélange, au châssis d'une scie mécanique qui s'élève et s'abaisse plusieurs milliers de fois dans l'espace d'une heure, on voit la poudre noire se transformer en cinabre de la plus belle couleur rouge, lequel ne diffère du sulfure noir que par sa texture cristalline.

La fonte de fer ordinaire doit sa dureté, sa fragilité et sa nature cristalline au carbone qu'elle renferme; le fer pur, exempt de carbone, n'est que rarement cristallin. Le fer des pierres météoriques se distingue aussi du fer spéculaire, en ce qu'il joint à une texture cristalline très-prononcée une grande souplesse, comme celle du fer forgé le plus pur. Mais une barre de fer forgé est tenace, d'une cassure fibreuse, et ne présente pas à l'intérieur de facettes cristallines; ses molécules sont groupées pêle-mêle, sans ordre; sa surface, humectée avec un acide étendu, n'offre pas les dessins particuliers au fer cristallin. Cependant, si cette même barre de fer forgé vient à être soumise à des coups de marteau, faibles mais longtemps répétés, on voit les molécules métalliques changer de disposition, et se grouper par

l'effet de ces chocs mécaniques, dans le sens le plus favorable à leur attraction réciproque : la barre devient alors cristalline, cassante comme la fonte; sa cassure n'est plus fibreuse, mais lisse et brillante. Ce phénomène qui se produit, plus ou moins vite, dans les essieux des locomotives et des diligences, cause souvent des accidents impossibles à prévoir.

Les forces mécaniques exercent de l'influence non-seulement sur la forme extérieure et sur le groupement des molécules semblables, mais encore sur le mode d'arrangement des molécules hétérogènes, c'est-à-dire sur la persistance des combinaisons chimiques. Le choc, le frottement le plus léger, peut causer l'explosion du mercure et de l'argent fulminants; il suffit de l'attouchement d'une barbe de plume pour déterminer la décomposition de l'ammoniure d'argent ou de l'iodure d'azote. Dans ces cas donc, l'ébranlement des molécules change le sens des attractions chimiques; elles se groupent alors dans un nouvel ordre, leurs éléments produisent de nouvelles combinaisons.

L'influence de la chaleur sur la manifestation des affinités est encore plus fréquente et plus évidente. En effet, la chaleur peut surmonter certaines résistances, opposées à l'affinité, et déterminer alors la formation des combinaisons; tantôt aussi elle résiste elle-même à l'affinité, et provoque un changement dans le sens des attractions chimiques, dans le groupement des atomes; en un mot, elle peut aussi empêcher la manifestation de l'affinité et l'anéantir tout à fait. Aux basses températures, l'attraction des molécules hétérogènes entre elles est tout autre qu'aux températures élevées; aussi,

il n'y a plus de combinaison chimique, quand la chaleur est portée aussi haut que possible.

Quand on expose au froid intense de l'hiver une solution de sel marin dans l'eau, on voit se former de gros prismes, limpides, qui renferment en combinaison chimique plus de 38 p. 100 d'eau; le sel marin, au contraire, qui cristallise à la température ordinaire, est toujours exempt d'eau. Il suffit de toucher légèrement les cristaux prismatiques pour les voir devenir opaques et d'un blanc laiteux; placés sur la main, ils fondent alors en une bouillie, composée de petits cubes de sel marin ordinaire. Ainsi, cette faible différence de 10 degrés dans la température est suffisante pour que les molécules de sel marin manifestent de l'affinité pour l'eau, et cette affinité, elles la perdent déjà au point de congélation de l'eau.

Lorsque le carbonate de chaux cristallise dans l'eau froide, ses molécules se groupent sous la même forme que le spath d'Irlande; cristallisé, au contraire, dans l'eau chaude, le même carbonate affecte la forme de l'arragonite. Ces deux minéraux, entièrement incompatibles sous le rapport de la forme cristalline, si différents quant à la dureté, au poids spécifique, au pouvoir réfringent, renferment cependant les mêmes quantités de chaux et d'acide carbonique. Cet exemple nous démontre que les molécules de carbonate calcaire, au moment de se solidifier, peuvent, sous l'influence d'une température élevée, se grouper différemment pour donner un corps tout autre, physiquement parlant. Mais, ce qui est bien plus remarquable encore, c'est que si l'on porte un cristal d'arragonite à une faible chaleur rouge, si on l'expose à une chaleur supérieure

à celle où il a pris naissance, il s'établit un mouvement dans toutes ses molécules : sans changer de poids, il se boursoufle alors, prend l'aspect de choux-fleurs, et se convertit en un amas de cristaux très-fins, dont chaque individu possède la forme rhomboédrique du spath d'Irlande.

Sous l'influence d'une température de 75 degrés, les matières contenues dans l'œuf des oiseaux, changent entièrement de propriétés ; l'albumine liquide, à peine jaunâtre, devient blanche et prend l'aspect de la porcelaine, ses molécules perdent toute mobilité, et cependant cette métamorphose remarquable s'effectue sans qu'aucune matière s'élimine ni ne se fixe sur l'albumine. Avant d'avoir été chauffées, les molécules albumineuses étaient solubles, miscibles à l'eau en toutes proportions, et le mouvement, déterminé en elles par la chaleur, les a privées de ces propriétés, en les disposant dans un autre ordre. C'est à ce nouveau groupement moléculaire que sont dues les propriétés nouvelles de l'albumine. Les forces chimiques, actives dans les molécules albumineuses, sont les causes ultimes de ce nouveau groupement, et, sous cette nouvelle forme, elles opposent à la cause pertubatrice, à la chaleur, une résistance dont elles étaient d'abord incapables.

Tous les corps organiques se comportent d'une manière semblable ; tous, sans exception, s'altèrent et se détruisent par l'action d'une chaleur plus ou moins élevée ; pour résister à cette cause perturbatrice, leurs molécules se groupent toujours dans un ordre nouveau. L'équilibre s'établit alors par la formation d'un, de deux, ou de trois nouveaux groupes moléculaires, issus d'une seule molécule complexe ; dans ces nouveaux produits, la résistance opposée par la force chimique est plus

grande que dans le corps primitif; la somme des affinités ne devient pas plus grande, mais les affinités se dirigent toutes dans un sens et deviennent ainsi plus énergiques.

Concevons, pour saisir ma pensée, une molécule d'eau, suspendue au centre d'une masse d'eau, qui serait placée dans un verre. Cette molécule centrale est attirée par les molécules aqueuses qui l'environnent, et elle exerce sur celles-ci la même attraction; cette attraction n'est pas plus forte d'un côté que d'un autre. L'excessive mobilité de la molécule d'eau provient de ce que toutes les forces attractives qui y agissent, se trouvent en équilibre. Il suffit, en effet, d'une faible force, venue du dehors, pour la faire changer de place; la plus légère différence de température qui en augmente ou en diminue la densité, l'oblige également de changer de place. Si cette molécule était attirée davantage d'un côté que d'un autre, elle se mouvrait dans ce sens, et il faudrait nécessairement une certaine quantité de force pour la détacher de la place où elle est attirée. Or, c'est précisément dans un semblable état que se trouvent les molécules à la surface de l'eau; elles sont moins mobiles que les molécules inférieures, elles sont plus rapprochées les unes des autres, plus denses, plus contractées, comme par l'action d'une pression extérieur; aussi, en usant d'une certaine précaution, on peut faire surnager une fine aiguille d'acier, qui tomberait immédiatement au fond si on l'y plongeait dans un autre sens. Cette cohérence plus forte des molécules superficielles, provient de ce qu'elles ne sont attirées et n'exercent elles-mêmes de l'attraction que *dans un seul sens;* l'attraction des molécules sous-jacentes n'est pas contre-

balancée par une autre attraction, émanant de molécules qui seraient placées au-dessus des molécules superficielles. Pour que l'aiguille tombe au fond du liquide, il faut nécessairement que ces dernières quittent d'abord leur place pour la lui céder; mais, avec quelque précaution, les molécules aqueuses ne se séparent point, bien que l'aiguille exerce sur elles une pression 7 ou 8 fois plus grande qu'un même volume d'eau.

Il en est de même de la force attractive qui maintient en combinaison les molécules des corps. Plus les éléments d'une combinaison sont nombreux, plus le nombre des atomes d'un groupe est grand, plus aussi les directions de la force attractive seront multipliées. L'intensité de l'attraction décroît en raison de la multiplicité des directions. Deux atomes, formant une combinaison, ne peuvent s'attirer que dans un sens; toute la somme d'attraction s'exerce donc dans cette direction unique; si un second ou un troisième atome vient à s'y ajouter, une partie de cette force doit nécessairement s'employer à attirer et à maintenir en combinaison ces nouveaux atomes. Il en résulte donc que l'attraction de tous les éléments entre eux devient plus faible, et que ces éléments opposent une moindre résistance aux influences extérieures qui tendraient à les séparer.

Voilà précisément la grande différence qui existe entre les combinaisons minérales et les corps organiques. Ceux-ci représentent des combinaisons d'un ordre plus élevé; bien que composés ordinairement de trois, de quatre, ou de cinq éléments au plus, leurs atomes sont bien plus complexes. Un atome de sel marin, une molécule de cinabre, constituent un groupe de deux ato-

mes seulement; mais un atome de sucre en renferme 36, une molécule d'huile d'olive contient plus de 100 atomes simples. Dans le sel marin, l'affinité chimique ne s'exerce que dans un sens; dans le sucre, au contraire, elle a lieu dans 36 directions différentes.

Sans rien ajouter à l'atome du sucre, et sans en rien retrancher, on peut se représenter les 36 atomes dont il se compose, comme groupés de mille manières différentes; chaque variation dans la disposition d'un seul d'entre ces atomes entraîne un changement dans les propriétés de l'atome composé du sucre.

Il est évident que le mouvement, la perturbation des affinités, doit amener dans les atomes organiques, ainsi que dans tous les atomes d'un ordre élevé, des modifications que ces causes ne provoqueraient pas dans des atomes moins complexes, par exemple, dans les substances minérales. C'est précisément à cette extrême complexité des molécules organiques, à cette faible attraction de leurs éléments, qu'il faut attribuer la facilité avec laquelle ces corps se décomposent par la chaleur. Les molécules organiques, une fois mises en mouvement, ou écartées entre elles par l'effet de la chaleur, se groupent en molécules plus simples, où l'attraction agit suivant un plus petit nombre de directions, et résiste davantage aux influences perturbatrices.

Les minéraux, les combinaisons inorganiques sont le résultat de l'affinité chimique, agissant librement, sans entraves; mais le mode de groupement de ces combinaisons, l'arrangement de leurs atomes, est provoqué par l'influence de causes extérieures et étrangères, actives en même temps. Ces dernières sont en quelque

sorte les causes déterminantes de la forme et des propriétés de ces combinaisons. Si, lors de leur formation, la température est plus élevée ou plus basse, leurs molécules forment de tout autres groupes.

De même que la chaleur modifie la forme et les propriétés des combinaisons minérales, ainsi la chaleur, la lumière, et surtout la force vitale, influencent d'une manière semblable les combinaisons engendrées dans l'économie vivante; ces agents y déterminent donc le nombre et le mode de groupement des atomes.

Nous pouvons composer un cristal d'alun, à l'aide de ses éléments, soufre, oxygène, potassium et aluminium, parce que nous pouvons, jusqu'à un certain point, disposer de l'affinité chimique et de la chaleur. Mais il nous est impossible de reproduire une molécule de sucre à l'aide de ses éléments; car la combinaison directe de ces éléments s'est effectuée par le concours de la force vitale, dont nous ne sommes pas maîtres, comme de la chaleur, de la lumière, ou de la pesanteur. Cependant, une fois que ces éléments se sont réunis dans l'économie vivante, ils rentrent dans la classe des autres combinaisons chimiques; nous pouvons alors, à notre gré, modifier les attractions qui sont actives dans leurs molécules, nous pouvons les accroître ou les détruire; en combinant ensemble deux, trois ou plusieurs atomes organiques, déjà composés, nous pouvons produire des atomes d'un ordre plus élevé; de même, nous sommes à même de convertir les molécules complexes en molécules plus simples. Ainsi, avec du bois ou de l'amidon, le chimiste peut faire du sucre; avec du sucre, il peut produire de l'acide oxalique, de l'acide acétique, du vinaigre, de l'aldé-

hyde, de l'alcool, de l'acide formique; et cependant, il lui est impossible de composer toutes ces substances à l'aide de leurs éléments. Ce n'est pas la force vitale qui détermine l'association des éléments pour former une combinaison chimique; aucun élément n'est, par lui-même, capable de servir au développement des plantes ou à la nutrition des animaux. Toutes les substances qui interviennent dans les phénomènes vitaux sont des groupes peu complexes d'atomes simples, qui, placés sous l'influence de la force vitale, s'associent pour donner des atomes d'un ordre plus élevé. La forme et les propriétés des premiers groupes sont déterminées par l'affinité chimique, sous l'empire de la chaleur; mais c'est la force vitale qui détermine la forme et les propriétés des groupes supérieurs, des atomes organisés.

TREIZIÈME LETTRE.

Métamorphose des combinaisons organiques, dès qu'elles sont soustraites à l'influence de la force vitale. — Fermentation, putréfaction, combustion lente. — Le mouvement est la cause de ces métamorphoses. — Fermentation du jus de raisin. — Levûre de bière. — Métamorphoses de l'aldéhyde. — Ferments en général. — Le mode de fermentation dépend du groupement des atomes qui se métamorphosent. — Fermentation alcoolique. — Fermentation visqueuse. — Formation de l'acide lactique, de l'acide butyrique, de l'huile de pommes de terre. — Causes de l'odeur et de la saveur des vins. — Ether acétique, éther butyrique, éther œnanthique.

Ce n'est qu'en vertu de l'inertie que les atomes organiques conservent leur état, leur forme et leurs propriétés, après l'extinction de l'activité vitale. Une loi, dont la généralité embrasse toute la nature, démontre que la matière ne possède, par elle-même, aucune activité; un corps mis en mouvement ne cesse de se mouvoir que par l'effet d'une résistance; pour qu'un corps en repos se mette en mouvement ou manifeste une activité quelconque, il faut nécessairement qu'une cause extérieure agisse sur lui.

Les parties constituantes des tissus animaux et végétaux se produisent sous l'empire de la force vitale; c'est cette force qui détermine le sens dans lequel s'attirent les éléments de ces parties. La force vitale est donc un agent moteur, capable de communiquer le

mouvement aux atomes en repos et d'opposer de la résistance aux autres agents du mouvement, à l'affinité chimique, à la chaleur, à la force électrique.

Nous pouvons bien redissoudre et liquéfier l'albumine coagulée par la chaleur, mais la force vitale a seule le pouvoir de rendre aux groupes moléculaires de l'albumine la disposition primitive qui leur est particulière dans l'œuf. L'albumine et la chair cuites se transforment de nouveau, dans l'économie animale, en albumine, en chair et en sang.

Lorsqu'un tissu animal ou végétal doit se former, la force vitale vient faire résistance à toutes les forces, telles que la cohésion, la chaleur, l'électricité, qui empêchent les atomes de se réunir, en dehors de l'organisme, en groupes complexes d'un ordre plus élevé; elle détruit donc l'influence perturbatrice exercée par ces forces sur la manifestation de l'affinité chimique, elle provoque l'association de ces groupes complexes, de la même manière que la chaleur, par exemple, favorise ou rend possible la production de certaines combinaisons minérales, en écartant ou en atténuant les résistances opposées par d'autres forces.

Ce sont précisément ces autres forces qui causent l'altération des propriétés dans les combinaisons organiques, soustraites par la mort à l'influence de la force vitale. Le contact de l'air, l'attraction chimique la plus faible suffisent alors pour déterminer, dans les atomes, une transposition, un nouvel arrangement, une décomposition; on voit alors se produire les phénomènes, connus sous le nom de fermentation, de corruption ou de putréfaction. Ce sont là des décompositions chimiques dans lesquelles les éléments reprennent l'état qu'ils

possédaient d'abord avant de prendre part aux fonctions vitales ; elles ont pour effet de ramener les atomes organiques complexes au degré de combinaison le plus inférieur qui leur avait donné naissance.

Ce n'est que dans ces derniers temps qu'on a reconnu les véritables causes de ces décompositions remarquables, si différentes des actions chimiques ordinaires ; on a constaté qu'aucune partie végétale ou animale n'est capable de fermenter ou de se pourrir spontanément, mais que ce genre de décomposition est toujours provoqué soit par la chaleur, soit par une action chimique, telle que le contact de l'eau ou du gaz oxygène.

Le jus de raisin, tant que l'enveloppe extérieure du grain le préserve du contact de l'air, n'éprouve aucune altération sensible, le grain ne fait que se dessécher. Mais il suffit d'une légère lésion, opérée sur l'enveloppe par une aiguille, pour altérer toutes les propriétés du suc. Aussi longtemps que le suc est à l'abri de l'air, c'est-à-dire à l'abri de l'action chimique que l'oxygène exercerait sur ses parties constituantes, le suc peut se conserver indéfiniment ; malgré l'altérabilité de ses parties, il manque donc alors la cause perturbatrice. Quand le suc est exposé à l'air, il s'y établit, à une certaine température, un dégagement de gaz vif et tumultueux, et alors tout le sucre disparaît ; le suc s'éclaircit après que la fermentation est achevée, dépose de la levure à l'état d'un sédiment jaunâtre, et se trouve contenir une quantité d'alcool correspondant à la proportion de sucre qu'il avait d'abord renfermée.

Séparée du suc, la levure est capable de déterminer les mêmes phénomènes dans de nouvelle eau su-

crée, de manière à convertir finalement tout le sucre en acide carbonique et en alcool. Mais, à mesure que les molécules saccharines se métamorphosent ainsi, la levure elle-même disparaît peu à peu ; elle éprouve aussi une décomposition particulière, plus lente, et perd enfin la propriété de provoquer la fermentation dans une nouvelle portion d'eau sucrée.

Les sécrétions animales se comportent exactement de la même manière. A l'état de santé, le lait, dans le pis de la vache, ou l'urine, dans la vessie, n'éprouvent aucune altération ; mais, au contact de l'air, le lait se caille et dépose, sans dégager du gaz, une masse gélatineuse, le fromage ; le lait s'aigrit alors, et le sucre qu'il contenait, disparaît à mesure que cette acidité augmente.

La fermentation des sucs végétaux, l'aigrissement et la coagulation du lait, sont des phénomènes du même ordre ; il n'y a de la différence que dans la forme ou dans l'état des nouveaux produits, engendrés par ces liquides. Dans la fermentation du jus de raisin, l'une des nouvelles combinaisons, l'acide carbonique, est gazeuse, et c'est elle qui détermine le boursouflement et l'effervescence du liquide ; dans la fermentation du lait, les produits restent en dissolution.

Comme l'état et la forme de ces produits sont des choses purement accidentelles, on comprend sous le nom de fermentations toutes les décompositions, semblables à celles du moût de raisin ou du lait, qu'elles donnent lieu ou non à un dégagement de gaz. Dans le langage vulgaire, on distingue la fermentation de la putréfaction ; cependant, cette distinction n'est nullement scientifique, puisqu'elle ne se rapporte qu'à une impression produite sur les nerfs olfactifs. La putréfaction

est la fermentation des matières organiques azotées ou sulfurées, dans laquelle il se forme ordinairement des produits doués d'une odeur désagréable.

La faible attraction qui maintient en combinaison les atomes simples dans les substances organiques, rend ces atomes fort mobiles et peut être considérée comme la cause éloignée des phénomènes dont nous parlons. Les sucs végétaux et les sécrétions animales contiennent des matières qui s'altèrent, dès qu'elles ne sont plus protégées par l'organisme et rencontrent l'oxygène de l'air. Quand on coupe une pomme, une betterave, une pomme de terre, on voit en peu de minutes la face mise à nu par le couteau devenir brune, de blanche qu'elle était d'abord; de semblables altérations s'effectuent dans les végétaux par une légère lésion des feuilles ou d'autres parties vertes, bien qu'elles ne se manifestent pas toujours par une coloration; l'oxygène de l'air, se combinant alors avec une des parties constituantes du suc, détruit l'ordre des molécules, trouble l'équilibre des attractions primitives, opère un nouvel arrangement des atomes, et provoque ainsi un certain mouvement dans la molécule complexe.

L'impulsion une fois communiquée, le mouvement persiste. Quand la fermentation s'est établie dans un suc végétal, dans le lait, dans la chair, le concours ultérieur de l'oxygène n'est plus nécessaire, et la fermentation peut continuer sans lui. La première molécule ébranlée par l'oxygène se trouve en contact avec d'autres molécules, ayant la même composition ou une composition différente; le mouvement imprimé à la première molécule agit alors comme un choc sur les molécules voisines; de cette manière le mouvement se propage

ou s'arrête, suivant l'intensité de l'attraction agissant entre les atomes simples de ces molécules. Si le mouvement est plus fort que la résistance qui lui est opposée, il se continue dans une seconde molécule, dont les atomes éprouvent ainsi un mouvement dirigé dans le même sens que celui de la première molécule, et se groupent de la même manière; il se communique ensuite à une troisième, à une quatrième, jusqu'à la dernière molécule complexe contenue dans le liquide. Lorsque la résistance est supérieure au mouvement, lorsque la force, maintenant en combinaison, des autres molécules complexes, est plus puissante que la cause qui tend à les dissocier, à les grouper en de nouveaux produits, le mouvement commencé doit évidemment cesser peu à peu.

Un des plus beaux exemples d'une semblable transposition moléculaire nous est offert par l'aldéhyde. Ce corps constitue un liquide incolore, miscible à l'eau, et si volatil qu'il entre déjà en ébullition à la chaleur de la main (à 21°); il est d'une odeur étourdissante, et se fait remarquer par l'avidité avec laquelle il attire l'oxygène de l'air, pour se convertir en acide acétique; mis en contact avec une lessive de potasse, il s'épaissit et produit une résine brune. Voilà des propriétés, certes, bien caractéristiques; mais ce qui est plus curieux encore, c'est qu'elles ne persistent pas. En effet, la manière dont il faut s'y prendre pour préparer ce corps est telle qu'on ne saurait le mettre à l'abri de l'oxygène. Si on l'enferme dans un tube de verre qu'on a soin de sceller à la lampe, il y reste toujours quelques particules dans l'état où elles absorbent de l'oxygène; alors cette absorption se trouve naturelle-

ment arrêtée ; cependant l'équilibre, rompu par elle, ne se rétablit pas pour cela, et le mouvement moléculaire se continue. Les molécules les plus voisines de celles qui ont subi ce commencement d'oxydation, s'ébranlent à leur tour, et leurs éléments se groupent alors dans une direction toute nouvelle ; cet ébranlement se communique peu à peu à toutes les molécules de l'aldéhyde, jusqu'à ce qu'enfin, au bout de quelques semaines, on n'en trouve plus dans le tube scellé, mais il est remplacé par une substance dont les propriétés ne sont plus les mêmes. Cette nouvelle substance se présente sous la forme d'un liquide non miscible à l'eau, surnage comme une huile à la surface de celle-ci, possède une odeur agréable et éthérée, bout à une température élevée de 60° au-dessus du point d'ébullition de l'aldéhyde, ne se résinifie plus par la potasse, et ne se transforme plus en acide acétique. Et, malgré cette différence de propriétés, ce nouveau corps a exactement la composition de l'aldéhyde; il renferme les mêmes éléments unis dans les mêmes proportions; toutefois, à voir sa densité à l'état de vapeur, ses atomes sont plus rapprochés et groupés dans un autre sens.

La fermentation, comme on voit, exige du temps, et ne s'accomplit pas, comme les autres actions chimiques, dans un instant incommensurable ; c'est qu'elle est le résultat de la propagation successive d'une activité allant d'une molécule à l'autre. D'ailleurs, toutes les combinaisons organiques ne sont pas susceptibles de fermenter, cette propriété n'est particulière qu'aux atomes complexes, et ne se rencontre pas dans les substances dont les éléments sont maintenus en combinaison par des affinités énergiques.

La circonstance la plus remarquable dans ce genre de métamorphoses, c'est qu'aucune substance étrangère, aucune affinité venant du dehors, ne prend part à la formation des nouveaux produits; par suite de la perturbation de l'équilibre des éléments, ceux-ci ne font que se disloquer. L'atome du sucre se décompose en 2 atomes d'acide carbonique et en 1 atome d'alcool; la somme de ces deux produits renferme les mêmes éléments que l'atome du sucre, et dans les mêmes proportions. Avant de s'aigrir, le lait renferme de la lactine ou sucre de lait; dans le lait aigri, ce dernier corps se trouve remplacé par de l'acide lactique dont la composition est la même que celle du sucre de lait.

Dans certains cas, les éléments de l'eau ou d'autres atomes complexes prennent part à ces métamorphoses; cela arrive surtout quand deux ou plusieurs atomes complexes se scindent de manière à donner des produits plus simples, ayant de l'affinité l'un pour l'autre; alors on n'obtient pas ces produits séparément, mais combinés entre eux.

La levure et les ferments en général sont des substances dont les éléments se trouvent dans un état de décomposition, et c'est précisément cet état qui leur communique la propriété de déterminer la fermentation. Cet état ne peut pas être maintenu; à mesure que la décomposition du ferment avance et s'achève, celui-ci sort de cet état et perd ainsi son activité. Il n'y a que la levure fraîche qui soit active; au bout d'un jour, on observe déjà une grande différence dans sa manière d'être.

Une solution de tannin peut être conservée des années entières dans un vase fermé, sans subir la moin-

dre altération. Mais si le tannin se trouve dans l'état qu'il présente dans l'extrait de noix de galle, il change peu à peu de propriétés; exposé dans un endroit chaud, il disparaît peu à peu d'une manière complète, et dépose de beaux cristaux d'acide gallique. C'est que, outre le tannin, l'extrait de noix de galle renferme une substance particulière qui se décompose au contact de l'eau, et sous l'influence de laquelle le tannin lui-même éprouve une métamorphose semblable.

La formation de l'acide lactique dans les raves ou les choux aigris, dans la choucroûte, s'effectue d'une manière semblable.

Les parties non azotées des plantes et des animaux, telles que le sucre, la gomme, l'amidon, la graisse, etc., ne fermentent pas seules au contact de l'oxygène. La propriété de fermenter ne se présente ordinairement que dans les atomes complexes, renfermant, outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, deux autres éléments, l'azote et le soufre. Ce sont ces atomes complexes qui excitent la fermentation dans les substances non azotées; la fermentation continue dans le liquide pendant tout le temps du contact du sucre avec la substance azotée à l'état de métamorphose. Quand l'oxygène est exclu, les deux métamorphoses s'achèvent en même temps, et se commandent réciproquement de telle sorte que lorsque la métamorphose du sucre est entièrement terminée, comme cela arrive, par exemple, dans les vins pauvres en sucre, il reste une certaine quantité de ferment sans être décomposée; la présence de cette dernière donne au vin la propriété de fermenter une seconde fois, par l'addition d'une nouvelle

quantité de sucre. Si, au contraire, la métamorphose du ferment est accomplie avant celle du sucre, il reste, dans le liquide, du sucre non altéré; ce dernier cas se présente, par exemple, dans les vins du Midi.

C'est aussi la présence du ferment qui communique au vin la propriété de s'aigrir au contact de l'air; quand ce ferment ne s'y trouve plus, on peut exposer le vin à des températures élevées ou basses, sans qu'il devienne aigre.

Les ferments contenus dans le jus de raisin, et dans les sucs végétaux en général, constituent des matières dont la composition est semblable à celle du sang ou à celle du caséum du lait. On peut, à l'aide du fumier animal, augmenter la quantité de ces matières actives, par exemple, dans la vigne. La bouse de vache est riche en alcalis, lesquels influent sur l'augmentation du sucre; mais ce fumier est pauvre en azote et en phosphates, par le concours desquels se produisent les principes du sang; les excréments de l'homme, au contraire, ne renferment que peu d'alcalis, tandis qu'ils agissent efficacement sur la production des principes du sang, et conséquemment sur celle des substances, comme les ferments végétaux, ayant une composition semblable.

Nous pouvons donc, par une culture bien entendue, par un choix convenable de fumier, exercer une influence bien décidée sur la qualité du moût de raisin. Quand il est chargé de substances azotées, semblables aux principes du sang, nous pouvons l'améliorer en y ajoutant du sucre, produit dans l'organisme d'une autre plante, ou bien encore, ce qui revient au même, en ajoutant aux raisins de nos climats, quand

ils n'ont pas mûri, des raisins secs ayant atteint la maturité et provenant des pays méridionaux. Au point de vue scientifique, ce sont là de véritables améliorations, qui ne portent aucun caractère de fraude.

J'ai déjà dit que la forme et les propriétés des produits de la fermentation dépendent du mode de groupement des atomes complexes en décomposition. Mais, naturellement, la chaleur influe aussi sur ces phénomènes, tout comme sur les réactions chimiques ordinaires. Le suc des carottes, des betteraves, des oignons, est riche en sucre; à la température ordinaire, il fournit les mêmes produits que le jus de raisin, savoir, de l'acide carbonique, un liquide chargé d'alcool, et un dépôt de ferment azoté. Quand la température est plus élevée, par exemple, à 40 ou 50°, les propriétés changent, le dégagement de gaz est alors plus faible, et il ne se produit point d'alcool. Si l'on examine le liquide, quand la fermentation est achevée, on n'y trouve plus la moindre parcelle de sucre; mais, à sa place, on découvre une quantité abondante d'acide lactique, accompagnée d'un corps semblable à la gomme, ainsi que d'une substance qui possède la composition et toutes les propriétés de la mannite, principe sucré de la manne.

L'alcool et l'acide carbonique sont donc les produits de la métamorphose du sucre à la température ordinaire; la mannite, l'acide lactique et la gomme sont le résultat de la fermentation du sucre à une température élevée.

Il est probable que, à une température élevée, la métamorphose du ferment se fait elle-même dans un autre sens, de manière à modifier le groupement des molécules voisines du sucre; l'expérience prouve du

moins que la chaleur n'est pas seule capable de faire varier les produits de la fermentation, la nature du ferment peut aussi faire qu'un seul et même corps donne naissance à des produits différents.

L'acide lactique, dans le lait qui s'aigrit, naît du sucre, dont la métamorphose est provoquée par son contact avec le caséum, subissant une altération en présence de l'air. Si, après la disparition de tout le sucre de lait, on ajoute au liquide une nouvelle quantité de sucre, la fermentation continue tant que le sucre rencontre du fromage en décomposition. Cette métamorphose du sucre de lait, sans dégagement de gaz, n'a lieu qu'à la température ordinaire de l'air. Si cette température vient à s'élever à 24 ou à 30°, les produits ne sont plus les mêmes ; dans ces circonstances, le caséum ou fromage acquiert les propriétés de la levure ordinaire, et le sucre de lait éprouve alors deux métamorphoses consécutives : il commence, en fixant chimiquement une certaine quantité d'eau par se transformer dans la même variété de sucre qu'on rencontre dans les raisins, et ensuite il se dédouble, au contact du fromage, en alcool et en acide carbonique.

En résumé, le lait, fermenté à la température ordinaire, donne de l'acide lactique comme produit principal de la décomposition du sucre ; à une température plus élevée, il donne un liquide alcoolique d'où l'on peut extraire, par la distillation, une véritable eau-de-vie.

Lorsqu'on ajoute, à une solution sucrée, en place de la levure, une petite quantité de fromage blanc caillé, et un peu de craie, pour maintenir la liqueur à l'état neutre, il s'y établit bientôt, à 25 ou 30°, un dégagement de gaz très-vif ; le sucre disparaît complète-

ment, il se dégage du gaz carbonique et du gaz hydrogène, et le liquide se trouve alors contenir de l'*acide butyrique,* un des acides organiques les plus intéressants, et connu comme principe du lait ou du beurre. Ainsi, dans la fermentation ordinaire, le sucre se scinde en deux produits, alcool et acide carbonique ; dans la fermentation précédente, il en donne trois, acide butyrique, acide carbonique et gaz hydrogène. Il existe d'ailleurs des rapports fort remarquables dans la composition de ces différents produits : l'alcool est de l'acide butyrique plus de l'hydrogène, la molécule butyrique équivaut à une molécule d'alcool d'où deux atomes d'hydrogène auraient été éliminés.

De semblables variations dans la nature des produits s'observent dans toutes les fermentations, soit par l'effet d'un changement de température, soit par celui de la présence d'autres matières qui viennent prendre part à la métamorphose. Ainsi, le même jus de raisin, en fermentant à des températures différentes, donne des vins de qualités bien diverses, suivant que la température de l'air, au moment des vendanges, est basse ou élevée; la profondeur, la température des cuves, pendant la fermentation, fait aussi varier la qualité, l'odeur et la saveur des vins.

Un local dont la température reste constante, une fermentation lente et régulière, non tumultueuse, voilà les conditions les plus favorables à la production d'un bon vin, et dont l'homme peut disposer à son gré. Il faudrait faire fermenter le vin dans des caves profondes qui conviennent si bien à la fermentation des bonnes sortes de bières; les avantages de ces caves tiennent principalement à leur température constante, et je suis

persuadé qu'elles conviendraient aussi à la fermentation des vins.

L'influence des substances étrangères, sur la fermentation, est surtout évidente dans le moût de pommes de terre. On sait qu'il fournit, par la distillation, outre l'alcool, un liquide huileux, vénéneux, d'une odeur et d'un goût repoussants. Cette huile dite de pommes de terre (Fuselœl des Allemands), n'est pas toute formée dans ce tubercule ; c'est un produit de la métamorphose du sucre. Ce produit se forme aussi dans la fermentation des sirops, provenant de la fabrication du sucre de betteraves. Il appartient, sous le rapport des caractères chimiques, à la même catégorie que l'alcool; représente les éléments de l'alcool dont se seraient séparés les éléments de l'eau. Deux atomes d'huile de pommes de terre se produisent par la réunion de cinq atomes d'alcool, éliminant 6 atomes d'eau.

Cette production de l'huile de pommes de terre, si abondante qu'on l'emploie à l'éclairage dans certaines distilleries, n'a jamais lieu dans les liquides fermentescents qui contiennent de l'acide lactique, de la crème de tartre, de l'acide citrique, ou certaines substances amères comme le houblon. Elle s'effectue de préférence dans les liquides alcalins ou neutres, ou dans ceux qui contiennent de l'acide acétique ou lactique, et on peut l'empêcher en grande partie par l'addition du tartre.

L'odeur et la saveur des vins provient toujours de combinaisons particulières, produites pendant la fermentation. Les vins vieux du Rhin renferment de l'éther acétique ; quelquefois on y trouve de petites quantités d'éther butyrique, auxquelles ils doivent une odeur et

un goût agréables, rappelant le vieux rhum de la Jamaïque. Ils renferment tous de l'éther œnanthique qui leur communique l'odeur vineuse. Ces combinaisons se produisent, soit pendant la fermentation, soit pendant que le vin repose, par l'action de ses acides sur l'alcool. L'éther œnanthique paraît se former pendant la fermentation, du moins on n'en a pas encore trouvé dans les raisins.

Les acides libres, contenus dans le jus de raisin en fermentation, prennent donc une part très-active dans la production des substances odorantes. Les vins du Midi, préparés avec un fruit bien mûr, renferment du tartre, mais il ne s'y trouve pas des acides organiques libres; ils ont à peine l'odeur particulière aux autres vins, et ne sauraient, sous le rapport du bouquet, soutenir aucune comparaison avec les vins fins de France ou du Rhin.

QUATORZIÈME LETTRE.

Propriétés du caséum des plantes et des animaux. — Manière d'être du caséum végétal avec la salicine ; saligénine. — Manière d'être du caséum végétal avec l'amygdaline ; formation de l'acide prussique et de l'huile d'amandes amères. — Action du caséum végétal sur la moutarde noire ; production de l'essence de moutarde. — Le gluten, les peaux animales, la présure, agissent comme le caséum des plantes. — Préparation du fromage. — Propriété des ferments (caillette de veau, viande cuite) de fluidifier le blanc d'œuf, etc.

Les propriétés du caséum animal ordinaire, l'influence que ce corps, dans l'état de métamorphose, exerce sur les molécules du sucre, sont certainement fort remarquables, cependant elles ne peuvent pas se comparer à celles du caséum végétal, contenu dans le lait d'amandes. Tout le monde sait que les amandes douces, réduites en bouillie et délayées dans 4 à 6 fois leur poids d'eau, donnent un liquide entièrement semblable, sous le rapport des caractères extérieurs, au lait de vache très-gras. Comme dans ce dernier, l'aspect laiteux de l'émulsion d'amandes provient de très-petites parcelles d'huile ou de graisse qui se rendent à la surface sous forme de crème ; cette émulsion se coagule par l'addition du vinaigre, comme le lait des animaux ; elle peut même s'aigrir par un repos prolongé.

C'est que le lait d'amandes renferme une substance entièrement semblable au fromage animal, tant par sa composition que par sa grande altérabilité.

A partir du moment où le lait sort du pis de la vache, le fromage qui y est contenu, éprouve une altération progressive, laquelle devient sensible, au bout d'un certain temps, par la coagulation du lait. Le caséum végétal subit une altération semblable, quand les amandes ont été réduites à l'état d'émulsion.

Le caséum des amandes renferme, comme celui du lait, une certaine quantité de soufre ; il renferme même plus d'azote que le fromage du lait, ce qui explique jusqu'à un certain point les effets différents de ces deux corps comme ferments. Ils agissent d'ailleurs de la même manière dans la fermentation du sucre. Lorsqu'on ajoute à une solution de sucre de raisin (il est identique au sucre de fécule et au sucre concret renfermé dans le miel) une certaine quantité de lait d'amandes ou de son d'amandes dépouillé des parties grasses par la pression à froid, le mélange, abandonné dans un lieu chaud, éprouve bientôt la fermentation vineuse; on peut alors, à l'aide de la distillation, extraire du produit un esprit de vin, doué d'un goût particulier, fort agréable. Le fromage animal produit le même effet. Toutefois, le fromage végétal du lait d'amandes peut déterminer, dans une foule de combinaisons organiques, telles que l'amygdaline et la salicine, des métamorphoses et des décompositions que le fromage animal est incapable de provoquer.

On appelle salicine cette partie de l'écorce des saules, qui lui communique une saveur si amère, ainsi que la propriété de se colorer en rouge cramoisi par l'addi-

tion de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. L'eau extrait aisément cette salicine. A l'état de pureté, elle constitue de fines aiguilles, allongées, soyeuses, entrelacées, et d'une extrême blancheur. La salicine est, comme le sucre, une substance non azotée; mais la composition de sa molécule est encore bien plus complexe.

Si l'on introduit de la salicine dans du lait d'amandes, la saveur amère disparaît bientôt pour faire place à une saveur franchement sucrée. Alors, il n'y a plus de salicine, mais elle est remplacée par du sucre de raisin et par un nouveau corps, la saligénine, entièrement différente de la salicine. Le sucre et la saligénine renferment ensemble les éléments de la salicine. Au contact du caséum du lait d'amandes, un atome de salicine se dédouble en un atome de sucre et en un atome de saligénine.

La manière dont le caséum végétal se comporte avec l'amygdaline est encore plus remarquable. Avant qu'on connût l'existence de l'amygdaline dans les amandes amères, les produits particuliers auxquels elle donne naissance, étaient inexplicables et semblaient un mystère difficile à dévoiler. Lorsqu'on réduit les amandes en poudre fine, et qu'on les distille avec de l'eau, il passe une liqueur très-odorante, rendue laiteuse par une infinité de gouttelettes huileuses qui viennent se rassembler peu à peu au fond. Cette huile est volatile, et possède une odeur et une saveur très-fortes d'amandes amères; elle est plus pesante que l'eau et se concrète peu à peu, en absorbant l'oxygène de l'air, de manière à se convertir en cristaux inodores d'acide benzoïque. Outre cette huile essentielle qu'on rencontre aujourd'hui

dans le commerce, il y a, dans la même eau distillée, une quantité considérable d'acide prussique.

Or, ni l'acide prussique, ni l'huile essentielle ne sont tout formés dans les amandes amères, avant d'avoir été distillées avec de l'eau. Si ces deux substances y préexistaient, comme c'est le cas par exemple de l'essence de térébenthine dans la résine des pins ou de l'huile de roses dans les fleurs de ce nom, il faudrait pouvoir les extraire de la même manière, à l'aide des huiles grasses ou d'un autre solvant. Mais l'huile grasse qui s'exprime des amandes amères, est aussi douce, aussi dépourvue de saveur, que l'huile des amandes douces; on n'y découvre aucune trace d'acide prussique ni d'huile volatile, bien que ces deux corps y soient fort solubles.

Lorsqu'on épuise les amandes amères avec de l'alcool bouillant, celui-ci n'en extrait pas non plus d'acide prussique ni d'huile essentielle, mais il se charge d'un corps blanc et cristallisable. Ce dernier se dépose par l'évaporation de l'alcool; sa solution aqueuse a une saveur légèrement amère. Il se distingue du sucre et de la salicine en ce qu'il renferme toujours une certaine quantité d'azote.

Selon le chimiste à qui l'on doit la découverte de l'amygdaline, c'était ou de l'amygdaline elle-même ou des substances inconnues, renfermées dans les amandes amères et transformées en amygdaline sous l'influence de l'alcool, que naissaient l'acide prussique et l'essence d'amandes amères. Ce chimiste ne trouvant pas le mot de l'énigme, il attribua, comme cela arrive souvent, à l'action d'un être insaisissable échappant à l'investigation de l'homme, la production de

l'amygdaline et sa transformation en acide prussique et en essence d'amandes amères.

Cependant cette métamorphose s'est expliquée d'une manière très-simple. On a constaté que si l'on met une solution aqueuse d'amygdaline en contact avec du lait d'amandes récemment préparé, elle éprouve une décomposition au bout de quelques instants ; les atomes de l'amygdaline se groupent alors dans un ordre nouveau, et se scindent en acide prussique, huile volatile d'amandes amères, sucre, acide formique, et eau. Les atomes simples, au nombre de 90, de tous ces produits, sont tous renfermés en un seul groupe dans la molécule d'amygdaline.

La quantité d'amygdaline qui se décompose ainsi sous l'influence du caséum végétal, dépend jusqu'à un certain point de la quantité d'eau contenue dans le mélange. Suivant que la quantité de cette eau est ou non suffisante pour dissoudre tous les produits, l'amygdaline se décompose en totalité ou seulement en partie. L'huile essentielle d'amandes amères exige 30 parties d'eau pour se dissoudre, les autres produits en exigent moins. Or, si l'on ajoute au lait d'amandes une quantité d'amygdaline telle que, pour 30 parties d'eau, il ne puisse se produire qu'une seule partie d'essence d'amandes amères, toute l'amygdaline disparaît ; une plus forte addition d'amygdaline au même mélange n'éprouverait aucune décomposition.

Il est aisé de voir que l'affinité chimique, c'est-à-dire le pouvoir dissolvant de l'eau, joue un certain rôle dans cette métamorphose. L'attraction de l'eau pour l'un des produits concourt à effectuer la décomposition. Comme le blanc des amandes amères est entièrement

identique au caséum végétal des amandes douces, il en résulte que la persistance de l'amygdaline dans les amandes dépend entièrement de la quantité d'humidité qu'elles renferment. Les amandes ne renferment qu'une faible proportion d'eau, comparativement aux produits amygdaliques qu'elle peut dissoudre; aussi, en broyant les amandes et en les mettant en émulsion avec une plus grande quantité d'eau, on voit l'amygdaline diminuer peu à peu, et finir par disparaître entièrement, s'il y a assez d'eau.

Les réactions de l'amygdaline et du blanc des amandes acquièrent encore plus d'intérêt, si l'on se rappelle que la présence de l'amygdaline dans les amandes est sujette à une certaine influence locale, suivant le terrain que le hasard fait occuper à l'arbre. En effet, les botanistes n'ont pu découvrir aucune différence anatomique entre les amandiers portant des amandes douces et ceux à fruits amers. Il arrive quelquefois que, par la translation seule d'un sol dans un autre, un amandier donne des amandes douces, après avoir porté des fruits amers. C'est là certainement un exemple curieux de l'influence des principes du sol sur l'acte vital des plantes.

Les faits précédents démontrent aussi combien la présence de l'eau peut influer sur l'existence de certaines combinaisons organiques. En voici encore quelques autres dont l'intérêt n'est pas moindre.

Tout le monde sait que la farine de moutarde noire, délayée dans l'eau, donne une bouillie qui exerce sur la peau une action vésicante fort énergique. Cette action provient d'une huile volatile, exempte d'oxygène mais sulfurée, qu'on peut obtenir, comme l'huile d'amandes

amères, en distillant la bouillie avec de l'eau. C'est à cette huile que la moutarde de table ordinaire doit son goût et son odeur ; à l'état de pureté, l'huile dont je parle, est d'une âcreté excessive.

La graine de moutarde ne renferme aucune trace de cette huile volatile ; l'huile grasse qu'on en extrait par la presse, est douce et sans âcreté. L'huile volatile naît d'un corps azoté et sulfuré, non âcre, et qui se métamorphose immédiatement par l'action du caséum végétal contenu dans la graine, dès que ce corps est mis en contact avec une quantité d'eau suffisante. Parmi les nouveaux produits, on trouve alors cette huile volatile si âcre.

Les parties azotées et sulfurées de presque toutes les graines, notamment ce qu'on appelle le *gluten* dans la graine des céréales, ont une composition semblable à celle du caséum végétal, et sont capables, comme celui des amandes et de la moutarde, d'exercer, en présence de l'eau, une action décomposante sur d'autres principes contenus dans la même graine. Ces parties doivent leur action à l'état de décomposition où elles se trouvent elles-mêmes.

La farine de seigle ou de blé, ainsi que les autres farines, donne, quand on la délaye dans vingt fois son volume d'eau à 75°, un empois qui se fluidifie à cette température au bout de quelques heures, et acquiert une saveur franchement sucrée. C'est qu'alors l'amidon, contenu dans la farine, fixe une certaine quantité d'eau, ses molécules se groupent dans un ordre nouveau, et il se produit ainsi, d'abord une gomme particulière, puis du sucre dit de raisin. Cette métamorphose est provoquée par l'état de décomposition du

gluten contenu dans la farine. C'est à la même cause qu'il faut aussi attribuer la fluidification de la pâte dans la préparation du pain.

La même production de sucre s'effectue dans la germination du blé. Quand le grain se met à germer, que ce soit du froment, du seigle ou de l'orge, tout l'amidon contenu dans le grain est transformé en sucre par l'action des molécules avec lesquelles l'amidon se trouve en contact. Le gluten lui-même acquiert alors de nouvelles propriétés ; comme l'amidon, il devient soluble dans l'eau.

Lorsqu'on chauffe à l'ébullition l'extrait aqueux de l'orge germée (ou malt), cet extrait, connu des brasseurs sous le nom de moût de bière, dépose une grande quantité de ce gluten, sous la forme d'une substance qu'on ne saurait distinguer du blanc d'œuf, ni par les propriétés ni par la composition. Le reste du gluten s'y trouve dans le même état que le principe azoté et sulfuré contenu dans le jus de raisin ; pendant la fermentation de la bière, il se dépose sous une forme et avec des propriétés entièrement semblables à celles de la lie de vin.

Des phénomènes du même ordre s'accomplissent dans la nature vivante sur une grande échelle. Vers l'automne, beaucoup de plantes ligneuses contiennent, déposée dans le corps ligneux, une substance identique à la fécule des pommes de terre ou des céréales ; au printemps, quand la plante reprend une nouvelle vie, cette substance se transforme en sucre. Ainsi, par exemple, la sève ascendante de l'érable est si chargée de sucre, qu'on l'utilise dans certaines localités où les érables abondent, pour l'extraction de ce corps. On a tout lieu de croire que ce sucre est le résultat d'une

métamorphose semblable à celle qui s'effectue dans les graines en germination.

Quand nos fruits d'hiver mûrissent dans nos fruitiers, c'est encore la conséquence d'une véritable fermentation. Les pommes et les poires vertes renferment une proportion considérable de fécule qui se transforme en sucre, sous l'influence du principe azoté, contenu dans ces fruits et qui se décompose lui-même. M. Redtenbacher a constaté dernièrement la production de l'acide formique dans la fermentation des feuilles et des jeunes branches des pins. Cette observation est d'autant plus intéressante, qu'elle fournit probablement la clef de l'origine de l'acide formique dans les fourmis, et notamment dans les variétés qui se nourrissent de substances qui ne pourraient pas se convertir en acide formique.

La peau des animaux, la muqueuse de l'estomac et des intestins, la substance de la vessie, partagent une foule de propriétés avec le gluten et la levûre. A l'état récent, ces substances n'ont pas la moindre action sur la fécule ou sur le sucre de lait, mais il leur suffit d'un séjour de quelques heures dans l'eau ou à l'air, pour entrer dans un état de décomposition qui les rend aptes à convertir très-promptement l'amidon en sucre et le sucre de lait en acide lactique.

Depuis un temps immémorial, on a mis à profit cette propriété de la muqueuse de l'estomac des jeunes veaux, pour coaguler le lait destiné à la préparation des fromages, ou, ce qui revient au même, pour provoquer la séparation du caséum des autres principes du lait.

Le fromage doit sa solubilité dans le lait à la présence d'un phosphate alcalin et d'un alcali libre. Il est aisé de

constater l'existence de ces substances dans le lait frais : il suffit d'y tremper un papier de tournesol rouge, qui bleuit alors immédiatement. L'addition d'un acide qui s'empare de l'alcali, fait en sorte que le fromage, insoluble dans son état naturel, vient se séparer. Dans la fabrication du fromage, on n'ajoute pas au lait cet acide nécessaire à sa coagulation, mais l'acide se produit aux dépens du sucre contenu dans le lait. Une petite quantité d'eau, dans laquelle on fait macérer un morceau de caillette, pendant quelques heures ou pendant une nuit, s'empare d'une quantité à peine appréciable de la membrane muqueuse en décomposition. Cependant, si l'on ajoute au lait cette eau, appelée *présure*, son état de décomposition se communique, chose importante, non pas au caséum, mais au sucre de lait, dont les éléments se métamorphosent en acide lactique qui neutralise alors l'alcali et détermine la séparation du caséum (1). On peut, à l'aide d'une bande de papier de tournesol, poursuivre cette métamorphose dans toutes ses phases : dès que la coagulation commence, le lait perd sa réaction alcaline ; si l'on ne sépare pas immédiatement du petit lait le caséum précipité, la formation de l'acide lactique continue, le liquide devient aigre et le fromage lui-même finit par se décomposer.

(1) Selon les expériences récentes de M. Selmi (*Journal de pharmacie et de chimie*, 3e série, t. IX, p. 4265), l'explication que donne M. Liebig de la coagulation du lait par la présure, serait à modifier. Suivant M. Selmi, la présure donnerait lieu à la coagulation du lait, non parce qu'elle produit de l'acide lactique, mais par l'effet seul de la métamorphose où elle se trouve. Le caséum soluble, en présence de ce corps en décomposition, se modifierait alors pour passer sous une autre forme. C. G.

Le fromage blanc, récemment préparé et débarrassé avec soin, par l'action de la presse et par une addition de sel, de l'eau et du sucre de lait, est un mélange de beurre et de caséum; il renferme tout le phosphate calcaire et une partie du phosphate de soude contenus dans le lait. Conservé dans un endroit frais, il donne lieu à une série de métamorphoses à la suite desquelles il acquiert des propriétés toutes nouvelles; il devient peu à peu diaphane, se ramollit plus ou moins dans toute son épaisseur, et prend une légère réaction acide ainsi que l'odeur propre qui le caractérise. Quand il est frais, il est très-peu soluble dans l'eau; mais, après avoir été abandonné à lui-même pendant deux ou trois ans, et surtout si la matière grasse a été préalablement enlevée, l'eau froide le dissout presque complétement en donnant un liquide qui peut, comme le lait, se coaguler par le vinaigre et par les acides minéraux. Lorsque le fromage se fait, le caséum insoluble revient à un état semblable à celui où il se trouvait dans le lait. Dans les fromages, à peu près sans odeur, d'Angleterre, de Hollande, de Suisse, et dans les meilleures qualités des fromages français, le caséum n'a subi aucune altération; l'odeur et le goût de ces fromages proviennent du beurre décomposé. Les acides fixes contenus dans le beurre frais, l'acide margarique et l'acide oléique, ainsi que les acides volatils, l'acide butyrique, l'acide caproïque et l'acide caprique, deviennent libres par suite de la décomposition de la glycérine.

C'est l'acide butyrique qui communique au fromage son odeur particulière; cette odeur est plus piquante ou plus aromatique suivant les proportions des acides volatils que je viens de nommer.

Le passage du caséum de l'état insoluble à l'état soluble repose sur la décomposition du phosphate de chaux par l'acide margarique du beurre; il se produit du margarate de chaux, tandis que l'acide phosphorique s'unit au caséum pour former une combinaison soluble dans l'eau.

Dans les qualités inférieures de fromages, notamment dans les fromages maigres, l'odeur provient de produits fétides, sulfurés, dus à la décomposition, à la putréfaction du caséum. Lorsque l'altération qui s'établit dans le beurre (le rancissement) ou dans le sucre de lait encore contenu dans le fromage, se communique au caséum lui-même, il en résulte nécessairement un changement de composition qui modifie les qualités nutritives du produit. S'agit-il d'obtenir des qualités supérieures, il faut surtout débarrasser le fromage du sucre de lait (du petit lait) et le soumettre, pendant qu'il se fait, à une basse température (1).

Les différences de goût et d'odeur des fromages dépendent du mode de préparation, de l'état de la présure, de l'addition du sel, et des circonstances atmo-

(1) La qualité si estimée des fromages de Roquefort, qui se préparent avec du lait de brebis, dépend exclusivement du local où on les abandonne, après les avoir exprimés, jusqu'à ce qu'ils se soient faits. On les met dans des caves, communiquant avec des grottes ou des fentes de rocher, et maintenues très-fraîches (à 5 ou 6°) par l'effet des courants d'air qui s'établissent à travers les fissures. Le prix de ces caves varie suivant leur température. M. Girou de Buzareingues (*Annales de chimie et de physique*, t. XLV, p. 371) rapporte qu'une cave dont la construction n'avait pas coûté plus de 12,000 fr., se vendit 215,000 fr. On peut regarder ce prix comme une preuve tout à fait concluante de l'influence exercée par la température sur la qualité des fromages.

sphériques pendant toute la durée de la préparation. Il est certain que les plantes qui servent à la nourriture des animaux, notamment les plantes aromatiques, ne sont pas sans influence sur la qualité du fromage; toutefois cette influence est très-secondaire. Malgré la grande différence que le lait de vache présente dans sa composition au printemps, en été et en automne, la qualité des fromages préparés dans la même localité n'en éprouve pas une modification bien sensible. La même prairie ne pourrait pas fournir, dans des saisons différentes, des fromages de qualité identique ou semblable, si la nature des plantes jouait réellement ici un rôle essentiel; car les végétaux qui fournissent le lait sont, suivant la saison, à des degrés de développement bien différents. Le mode de fabrication des fromages suivi à Chedder diffère complétement, ainsi que je m'en suis assuré moi-même, du procédé employé dans le Glocestershire, et là aussi le fromage ne se prépare pas comme à Stilton.

Indépendamment de la faculté qu'elles possèdent de convertir le sucre de lait en acide lactique, la présure des jeunes veaux et la muqueuse de l'estomac des animaux en général présentent aussi la propriété de rendre solubles ou de fluidifier les substances animales solides en présence de l'acide hydrochlorique faible. Les phénomènes dont cette réaction est accompagnée, ont répandu une lumière inattendue sur l'acte de la digestion chez les animaux. Tous les agents de fermentation, à une certaine phase de leur métamorphose, sont capables de déterminer cette réaction; nous en avons déjà parlé, en nous occupant de l'action du moût de bière et du gluten sur la fécule; mais cette propriété

se manifeste à un bien plus haut degré dans la muqueuse de l'estomac. Quand on laisse macérer un petit lambeau de caillette pendant quelques heures dans de l'eau chaude aiguisée d'un peu d'acide hydrochlorique, de manière à lui communiquer une saveur à peine acide, on obtient un liquide qui agit sur la chair bouillie, sur le gluten et sur le blanc d'œuf durci par cuisson, absolument comme le suc gastrique dans un animal vivant. L'acidité de ce suc est due aussi à la présence d'une certaine quantité d'acide hydrochlorique. Si l'on abandonne la chair musculaire, ou le blanc d'œuf coagulé dans cette liqueur artificielle, à une température de 37°, qui est celle de l'estomac, ces substances deviennent bientôt, sur les bords, mucilagineuses et diaphanes; quelques heures suffisent pour qu'elles s'y dissolvent complétement en donnant une émulsion légèrement troublée par des particules grasses. Le pouvoir dissolvant de l'acide hydrochlorique est donc exalté par la présence d'une quantité, à peine appréciable, de membrane en décomposition, de telle sorte que la dissolution s'accomplit dans un temps cinq fois plus court que par l'action de l'acide hydrochlorique seul.

Les recherches de la physiologie moderne démontrent qu'à chaque digestion la membrane interne la plus superficielle de l'estomac, l'épithélium, se détache tout entière; il est hors de doute que la substance de cette membrane, rencontrant l'oxygène qu'y apporte l'air emprisonné dans la mousse de la salive, éprouve une décomposition, à la suite de laquelle les matières contenues dans l'estomac se dissolvent et se fluidifient dans un temps très-court.

On a cru pendant longtemps que la propriété dont jouit la muqueuse de l'estomac d'accroître le pouvoir dissolvant de la liqueur hydrochlorique, était due à la présence d'un corps *sui generis*, d'une espèce de principe digestif. La même opinion a été professée à l'égard de la substance qui, contenue dans le moût de bière, provoque la transformation de l'amidon en sucre. On a même donné à ces corps des noms particuliers ; cependant, la *pepsine* et la *diastase* ne sont autre chose que cette partie de la muqueuse ou du gluten qui se trouve dans un état de décomposition; comme la levûre, ils n'agissent qu'en vertu de leur état particulier.

Il suffit donc d'un lambeau de muqueuse, dans un certain état de décomposition, pour dissoudre un grand nombre de substances animales ; avec le même lambeau entré dans une autre phase de métamorphose, on peut convertir l'amidon en sucre, le sucre en acide lactique, en mannite et en mucilage, ou en acide carbonique et en alcool. Il en est de même de l'extrait aqueux de l'orge récemment germée, quand il transforme, dans l'espace de quelques minutes, l'empois d'amidon en sucre de raisin ; cette propriété se perd déjà au bout de peu de jours ; mais alors le même extrait est capable de convertir le sucre de raisin en acide lactique, en mannite et en gomme; enfin, au bout de huit ou de dix jours, cette dernière propriété s'évanouit complétement à son tour, l'extrait se trouble, et, mis en cet état en contact avec le sucre, il le transforme en alcool et en acide carbonique.

Les phénomènes précédents, appréciés dans leur véritable portée, démontrent que les décompositions

qui s'accomplissent dans les fermentations, sont provoquées par une matière dont les particules se trouvent elles-mêmes dans un état de mouvement, de décomposition ; ces particules communiquent leur état aux atomes voisins, troublent ainsi l'équilibre des attractions chimiques de ces atomes, et provoquent un changement dans le mode de groupement de leurs éléments.

Les produits des fermentations varient suivant la température, et suivant l'état de décomposition où se trouve le ferment. Le nouveau groupement des atomes, d'où dépendent la nature et les propriétés des produits, est donc dans un rapport direct avec le sens et l'intensité du mouvement imprimé aux molécules.

Toutes les substances organiques en décomposition peuvent agir comme ferments; quand une molécule ébranlée est incapable de résister au mouvement par les forces qui agissent en elle, ce mouvement, cette décomposition se propage. La chair, le sang, la bile, l'urine, la muqueuse de l'estomac, toutes ces substances en putréfaction, partagent la même propriété avec les parties végétales ou avec les substances contenues dans les sucs végétaux. Tous les ferments, c'est-à-dire toutes les molécules complexes qui se décomposent par le contact seul de l'eau ou de l'oxygène, tous ces corps ont certaines propriétés communes à côté des effets particuliers à chacun d'eux. Les différences dans leur manière d'agir se rattachent à leur composition : le caséum des amandes agit, sur la fécule et sur le sucre, comme le font la levûre et le gluten ; mais ces deux derniers corps sont incapables de convertir la salicine en saligénine et en sucre, l'amygdaline en acide prussique et en essence d'amandes amères. De même, les mem-

branes animales acquièrent, dans certaines circonstances, les propriétés du fromage animal en fermentation ; mais celui-ci n'exerce aucune influence sensible sur le pouvoir dissolvant de l'acide hydrochlorique, sur la fluidification de la chair et du blanc d'œuf bouillis.

Tous les phénomènes de fermentation, considérés dans leur ensemble, confirment ce principe émis depuis longtemps par Laplace et Berthollet, qu'*une molécule mise en mouvement par une force quelconque peut communiquer son propre mouvement à une autre molécule en contact avec la première*. Cette loi de dynamique s'applique d'une manière générale à tous les cas où la résistance (force vitale, affinité, force électrique, cohésion), opposée au mouvement, ne suffit pas pour l'arrêter. Appliquée à la fermentation, cette même loi explique les changements de forme et de nature d'un grand nombre de combinaisons chimiques, et peut être considérée comme une des acquisitions les plus importantes et les plus durables de la science.

QUINZIÈME LETTRE.

La pourriture est une combustion lente. — Le blanchiment de la toile sur le gazon est une application industrielle de ce phénomène. — Fabrication de la bière et du vin. — Formation du vinaigre.

Comme nous l'avons dit dans la lettre précédente, l'action chimique de l'oxygène est la cause première et essentielle de toutes les métamorphoses subies par les molécules organiques. La fermentation et la putréfaction ne s'établissent qu'à la suite d'un commencement de combustion ; elles cessent par l'établissement d'un nouvel état d'équilibre. Lorsque l'oxygène se combine avec un des éléments de la substance organique, il y rompt l'équilibre des attractions moléculaires; la substance se scinde alors en une série de produits nouveaux qui persistent, à moins que de nouvelles causes perturbatrices n'en viennent altérer les propriétés.

Cependant, quand même les actions chimiques que les éléments des molécules organiques sont susceptibles d'effectuer entre elles, se compensent réciproquement de manière à déterminer un équilibre parfait dans les attractions des nouveaux produits, cet équi-

libre n'existe pas par rapport à leur attraction pour l'oxygène. L'action chimique de l'oxygène ne cesse que si les substances ont perdu la faculté de se combiner avec lui ; elle ne s'arrête que dans le cas où l'oxygène aurait donné naissance à des produits incapables de s'oxygéner davantage. C'est alors seulement que les attractions des éléments extérieurs font équilibre à leur attraction pour l'oxygène.

La fermentation et la putréfaction représentent la première phase du retour des molécules organiques à un état de combustion plus simple ; le cercle des métamorphoses se complète par la combustion lente, par le passage des produits à l'état de combinaisons gazeuses. Ainsi donc, les éléments des substances organiques, le carbone et l'hydrogène, qui, avant de prendre part aux actes vitaux, constituaient des combinaisons oxygénées, reviennent à leur état primitif, c'est-à-dire reprennent leur forme de combinaisons oxygénées. La décomposition des substances organiques à la température ordinaire consiste donc en une combustion lente, dans laquelle les produits de la fermentation et de la putréfaction des parties végétales et animales se combinent peu à peu avec l'oxygène de l'air.

Après l'extinction de la vie, nulle partie végétale ou animale n'est capable de résister à l'action chimique exercée par l'air et l'humidité ; car, avec la mort, s'évanouit précisément toute la force de résistance propre aux parties organisées, et leurs éléments retombent alors sous l'empire exclusif des forces chimiques.

A mesure que les forêts vierges de l'Amérique s'éclaircissent et que l'accès de l'air au sol chargé de débris végétaux se trouve ainsi favorisé, la nature du

terrain se modifie peu à peu, si bien qu'au bout de quelques années, il ne reste plus aucune trace de ces débris. Au temps de Tacite, la surface de la Germanie entière était couverte d'une forêt impénétrable, le sol était sans doute alors de la même nature que la terre végétale des forêts vierges de l'Amérique ; mais aujourd'hui tous ces produits de la vie végétale ont complétement disparu pour nous. Les cadavres de tous ces milliards de testacés et d'autres animaux dont les débris forment des montagnes entières, se sont putréfiés après la mort et, sous l'action incessante de l'atmosphère, se sont convertis en combinaisons gazeuses ; il n'en reste que les coquilles, les os, en un mot les parties minérales non sujettes à se décomposer, et témoignant ainsi du mouvement éternel de la vie, qui s'éteint et renaît sans cesse. Ce n'est que dans les lieux où l'accès de l'oxygène atmosphérique est limité ou entièrement nul, par exemple, dans les tourbières et dans les bancs de lignites, qu'on rencontre les restes encore reconnaissables d'une végétation primitive, dans un état de décomposition bien moins avancée.

L'eau et une température convenables sont, comme dans la fermentation et la putréfaction, les conditions essentielles pour que la combustion lente puisse s'établir et s'achever dans les substances organiques. La dessiccation et la congélation font cesser tous les phénomènes de combustion lente et de fermentation. La propagation de la métamorphose d'une molécule à l'autre, suppose un déplacement, une certaine mobilité des molécules, et c'est l'eau qui la favorise. Dans la combustion lente, la température s'élève, et cette circonstance augmente encore davantage la tendance des

éléments à se combiner avec l'oxygène atmosphérique. Beaucoup de matières organiques sont capables, à l'état humide, d'absorber de l'oxygène ; il en est d'autres au contraire, et c'est le plus grand nombre, qui ne sont pas susceptibles de s'oxyder seules.

Lorsqu'on place de la sciure ou des copeaux de bois humides dans un vase rempli d'air, ces matières en altèrent peu à peu les propriétés. Une allumette qui eût brûlé dans cette amosphère, avant l'introduction du bois, s'y éteint subitement comme si on la plongeait dans l'eau. Un examen attentif démontre que tout l'oxygène de l'air disparaît peu à peu, pour être remplacé par un volume égal d'acide carbonique. Si l'on enlève cet air chargé de gaz carbonique et qu'on remplisse de nouveau le vase d'air pur, la même réaction se rétablit, et l'oxygène de cet air se transforme encore en acide carbonique. Le changement de composition éprouvé par l'air dans ces circonstances, est absolument le même que si l'on y faisait brûler le bois.

Le blanchiment de la toile ou des étoffes colorées par l'exposition à l'air sur le gazon, est une application industrielle de ce phénomène, exécutée sur une grande échelle. La toile de lin ou de coton est du ligneux ordinaire, plus ou moins coloré par des substances organiques étrangères, contenues dans la plante ou ajoutées pendant la fabrication ; humectée d'eau et exposée au soleil, la toile éprouve, à toute sa surface, une combustion lente, et tout l'air qui y arrive, se convertit incessamment en acide carbonique. Le poids de la toile diminue alors peu à peu, les matières colorantes disparaissent, en même temps qu'une quantité notable

de ligneux, dont les éléments passent à l'état de combinaisons oxygénées. Si l'influence de l'air contenu persiste plus longtemps, la toile perd sa cohérence, se convertit en une matière semblable à la pâte du papier, et celle-ci continue de se pourrir, tant qu'elle est soumise aux conditions favorables à l'absorption de l'oxygène. Les parties végétales azotées se comportent de la même manière que le bois, et les autres parties exemptes d'azote. La chair fraîche, la lie et la levûre de bière, ces premiers produits de la fermentation des parties végétales azotées, s'emparent de l'oxygène de l'air, et émettent en retour, comme le bois, un volume égal d'acide carbonique.

Lorsqu'on exhuma les cadavres enterrés au marché des Innocents, pour les transporter hors de Paris, on les trouva, pour la plupart, jusqu'à une profondeur de 60 pieds, comme transformés en graisse. La peau, les muscles, les tendons, le tissu cellulaire, avaient complétement disparu jusqu'aux os; il n'était resté que la graisse, celle de toutes les matières animales qui résiste le mieux à la décomposition. Cette graisse se trouvait à l'état d'acide margarique; aussi en employa-t-on des centaines de quintaux pour fabriquer du savon et de la chandelle. Lorsqu'on suspend de la viande dans l'eau courante ou qu'on l'enfouit dans le sol humide, au bout d'un certain temps, il n'en reste plus que la graisse.

Toutes les substances qui pourrissent, se comportent à l'état humide, avec l'air ambiant, comme si on les calcinait à l'état sec; elles absorbent de l'oxygène, elles brûlent.

L'alcool, cet autre produit de la fermentation des sucs végétaux sucrés, n'est pas, comme ces derniers,

susceptible de se pourrir. Quand on expose à l'air de l'alcool pur ou étendu d'eau, il s'évapore peu à peu, sans se combiner avec l'oxygène, et cependant on sait qu'il s'enflamme aisément à une température élevée, et brûle en donnant de l'eau et de l'acide carbonique. Les éléments de l'alcool ont une grande affinité pour l'oxygène, et la chaleur n'est qu'une condition nécessaire à la manifestation de cette affinité.

Le gaz hydrogène et beaucoup d'autres corps combustibles se comportent comme l'alcool; leur affinité pour l'oxygène ne se manifeste qu'à un certain degré de chaleur.

C'est aussi en vertu de leur état particulier que les matières organiques en pourriture ou en combustion lente, déterminent une décomposition chimique dans d'autres molécules voisines, incapables à elles seules d'éprouver une métamorphose. Au contact des matières pourrissantes, une foule de corps manifestent à la température ordinaire, de l'affinité pour l'oxygène; ils produisent avec lui des combinaisons qui, sans le concours des matières en pourriture, ne se formeraient qu'à la faveur d'une forte chaleur. L'état de combustion lente où se trouvent les corps qui pourrissent, se communique à toutes les matières en contact avec eux; l'affinité pour l'oxygène de ces dernières, est donc exaltée par la présence des corps en pourriture, qui agissent alors comme la chaleur, en déterminant la combinaison des corps avec l'oxygène. On ne saurait autrement expliquer ce fait.

Le contact avec une substance pourrissante est donc la condition essentielle pour que la pourriture ou combustion lente s'établisse dans des corps privés de la fa-

culté de se combiner avec l'oxygène à la température ordinaire. Cette combinaison a pour effet d'élever la température des substances au-dessus de celle du milieu ambiant ; toutefois, quelque grande que soit la part de la chaleur dans l'accélération de la métamorphose, il n'en est pas moins vrai qu'elle n'est pas ici, comme dans les autres réactions chimiques, la cause de la manifestation de l'affinité pour l'oxygène.

Lorsqu'on suspend, dans un bocal rempli d'air, mélangé d'une certaine quantité d'hydrogène, un sac contenant de la sciure de bois, de la suie, de la terre végétale, tous ces corps à l'état humide, ils continuent de se pourrir comme à l'air libre, en transformant l'oxygène en acide carbonique ; et, ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que l'hydrogène contenu dans l'air brûle aussi dans ces circonstances. Au contact des substances qui se pourrissent, l'hydrogène acquiert donc la propriété de se combiner avec l'oxygène à la température ordinaire, et même, si ce dernier gaz se trouve en quantité suffisante, tout l'hydrogène se convertit en eau.

D'autres gaz combustibles, simples ou composés, se comportent comme l'hydrogène. Ainsi, par exemple, la vapeur de l'alcool, lorsqu'elle se trouve dans un espace clos, renfermant du bois ou d'autres substances en pourriture, s'empare de l'oxygène, et se convertit d'abord en aldéhyde, puis en acide acétique ; celui-ci se condense et se soustrait ainsi à l'action ultérieure de l'oxygène.

C'est aussi sur la même propriété qu'est fondée la fabrication rapide du vinaigre. Autrefois, la transformation des liquides fermentés en vinaigre, durait des

semaines et des mois entiers, à cause de l'accès incomplet de l'air; mais aujourd'hui on est parvenu à convertir l'alcool en vinaigre, dans l'espace de vingt-quatre heures. Ce procédé consiste principalement à faire couler lentement de l'esprit de vin étendu d'eau sur des copeaux de bois, disposés dans des tonneaux, en même temps qu'il y circule un faible courant d'air. Dans ce procédé, la surface d'alcool offerte à l'oxygène est mille fois plus considérable que dans l'ancienne méthode, ce qui abrége naturellement le temps nécessaire à la combustion complète de l'alcool. Pour mettre en train ce qu'on appelle les générateurs du vinaigre, on ajoute d'abord à l'esprit de vin de petites quantités de substances, dont certaines parties sont capables d'éprouver la combustion lente, telles que du moût de bière, du miel, du vinaigre non achevé; bientôt la surface des copeaux se met elle-même à pourrir en absorbant l'oxygène, et détermine ainsi la transformation de l'esprit de vin en vinaigre, sans le concours d'autres matières pourrissantes.

Maintenant que nous connaissons la manière d'être des substances organiques en pourriture, il nous sera aisé d'en déduire quelques applications au point de vue de la fabrication de la bière et du vin.

La propriété que possèdent le vin et la bière de s'aigrir au contact de l'air repose sur la présence, dans ces liquides, de substances étrangères dont la faculté d'absorber l'oxygène se communique aux molécules d'alcool en contact avec ces substances. Celles-ci étant enlevées, le vin et la bière ne s'aigrissent plus.

Dans le jus des raisins, pauvres en sucre, il reste toujours, après la décomposition complète du sucre en

alcool et acide carbonique par la fermentation, une quantité considérable de substances azotées, douées encore des mêmes propriétés qu'avant la fermentation. C'est tout l'inverse dans le jus des raisins du Midi : ceux-ci contiennent toujours une grande quantité de sucre non décomposé, après que toute la matière azotée s'est déposée sous forme de lie. Les vins du Midi ne s'altèrent que peu à l'air, à moins cependant d'être rouges : c'est que les vins rouges renferment une matière colorante, fort altérable, qui joue, au contact de l'air, le même rôle que les substances azotées.

Les parties azotées, restées dans le vin après la fermentation, sont celles qui ont excité la fermentation du sucre ; quand celui-ci a disparu, elles exercent sur l'alcool la même action que lui ferait subir le bois en pourriture. Ces parties azotées déterminent donc aussi l'aigrissement des liqueurs fermentées.

L'affinité de ces matières azotées pour l'oxygène est très-grande ; dans le court espace de temps qu'exige le transvasement du vin d'un fût dans un autre, elles s'emparent de l'oxygène de l'air, et mettent le vin dans un mouvement d'acidification qui continuerait sans interruption, si on ne l'arrêtait pas par quelque moyen artificiel. On sait que cela s'opère par le soufrage du vin. On brûle une bande soufrée dans la pièce destinée à recevoir le vin ; l'air contenu dans la pièce est ainsi privé de son oxygène ; il se produit un volume de gaz sulfureux égal au volume de l'oxygène absorbé, et ce gaz sulfureux est vivement absorbé par la surface humide de l'intérieur du tonneau. Or, l'acide sulfureux a pour l'oxygène une bien plus grande affinité que les matières azotées contenues dans le vin, et

auxquelles il doit de s'aigrir; en se répandant peu à peu dans le vin, il s'empare de tout l'oxygène que l'air y ferait pénétrer, et remet ainsi le vin dans l'état où il se trouvait avant d'être soutiré. Aussi retrouve-t-on, dans le vin, l'acide sulfureux sous forme d'acide sulfurique.

Lorsque les vins reposent dans les celliers, il s'établit à travers les parois ligneuses des tonneaux, un courant d'air faible, mais continu. Le vin est donc constamment en contact avec une petite quantité d'oxygène, qui est cause que la matière azotée qu'il renferme encore, s'y dépose peu à peu à l'état de lie.

La séparation de la lie et de la levûre, pendant la fermentation du jus de raisin ou du moût de bière, s'effectue à la suite d'une absorption d'oxygène, ou, ce qui est le même, à la suite d'une oxydation opérée au sein de la liqueur fermentescente. La partie azotée de l'orge n'est pas soluble dans l'orge, mais elle le devient par la germination; elle acquiert alors le même caractère que la substance azotée du jus de raisin possède dès le principe.

Ces deux substances azotées perdent leur solubilité dans le vin et dans la bière. D'après les meilleures analyses qui ont été faites à cet égard, la lie et la levûre de bière sont bien plus oxygénées que les substances azotées d'où elles tirent leur origine.

Tant qu'il existe des particules sucrées en fermentation, en présence de ces matières azotées, c'est le liquide lui-même qui, en décomposant l'eau ou une petite quantité de sucre, fournit à ces dernières l'oxygène nécessaire à la transformation en lie ou levûre insoluble. Cette oxydation, au sein du liquide, cesse avec la

disparition du sucre; mais elle se rétablit si l'on y ajoute une nouvelle portion de sucre, de manière à le rendre encore fermentescible; de même, cette oxydation a lieu quand la surface du liquide est laissée en contact avec l'air. Dans ce dernier cas, la séparation de la lie est donc le résultat d'une véritable pourriture.

Nous avons vu que le contact des matières azotées avec l'alcool détermine le passage de ce dernier à l'état d'acide acétique, si l'air a un accès suffisant. Une différence d'affinité pour l'oxygène est cause évidemment que, pendant le séjour du vin dans les tonneaux où l'accès de l'air n'est que fort limité, l'oxygène ne se porte que sur la matière azotée, sans attaquer l'alcool; à l'air libre, au contraire, le vin se change en vinaigre.

Si l'on avait le moyen d'empêcher l'acidification de l'alcool contenu dans le vin, tout en donnant un libre accès à l'air ou à l'oxygène, on pourrait ainsi, en fort peu de temps, rendre le vin et la bière susceptibles de se conserver indéfiniment, et leur donner, en quelque sorte, une maturité parfaite. Dans ce cas, en effet, toutes les matières azotées, cause de l'aigrissement du vin et de la bière, se combineraient avec l'oxygène, et se sépareraient de ces liquides à l'état insoluble. Or, ces matières une fois enlevées, l'acool perdrait tout à fait la propriété d'absorber l'oxygène.

L'expérience a conduit au moyen de réaliser ces conditions. Il consiste à laisser fermenter les liquides à une basse température. L'industrie a fondé sur cette découverte, notamment en Bavière, un procédé de fermentation d'une simplicité et d'une sûreté qu'on serait à peine en droit d'exiger de la plus parfaite théorie.

La transformation de l'alcool en vinaigre, par le contact d'un corps en pourriture, s'effectue le plus rapidement à la température de 35°; au-dessous de ce point, l'affinité de l'alcool pour l'oxygène est moindre. A 8 ou à 10 degrés centigrades, l'oxydation de l'alcool n'a pas lieu dans ces circonstances, mais l'affinité des matières azotées pour l'oxygène n'est pas sensiblement affaiblie.

Il est évident, d'après cela, que si on laisse fermenter le moût de bière, comme cela se pratique en Bavière, dans de larges cuves découvertes, de manière que l'accès de l'air soit illimité; si, de plus, la fermentation s'accomplit dans un local dont la température ne dépasse pas 8 ou 10 degrés, la séparation du ferment azoté pourra s'effectuer à la fois à la surface et au sein du liquide. Quand cette précipitation est complète, on voit la bière s'éclaircir. C'est, d'ailleurs, à l'habileté et à l'expérience du brasseur à saisir les circonstances les plus favorables à cette séparation; aussi, comme on le pense bien, ne réussit-elle d'une manière parfaite que dans quelques cas, ce qui n'empêche pas, cependant, que la bière fabriquée par ce procédé soit d'une meilleure qualité et se conserve bien mieux que la bière ordinaire.

Une application raisonnée de ce procédé à la fabrication du vin serait assurément fort avantageuse, mais il faudrait d'abord apprécier à leur juste valeur les principes sur lesquels il repose. Les vins préparés par cette méthode seraient aux autres vins ce que la bonne bière de Bavière est aux bières ordinaires, quoique l'une et l'autre exigent la même quantité d'orge et de houblon. Au bout de fort peu de temps, le vin serait ainsi fait et d'une aussi bonne qualité qu'aujourd'hui après

plusieurs années de repos. Si l'on se rappelle que les vendanges se font en octobre, dans une saison dont la fraîcheur est si favorable à la fabrication de la bière; que ce procédé n'exige pour la fermentation du moût qu'une cave très-fraîche, et de larges cuves découvertes; que le vin, toutes choses égales d'ailleurs, risque moins de s'aigrir que la bière, les avantages du nouveau procédé semblent incontestables (1).

C'est tout à l'encontre de ces principes qu'on procède sur le Rhin et dans d'autres localités. Là, on fait fermenter le vin, non pas dans des caves fraîches, mais dans des celliers ouverts, trop élevés, par conséquent beaucoup trop chauds, et l'on intercepte l'accès de l'air, en plaçant dans les bondes des tuyaux en fer-blanc qui viennent se rendre dans l'eau. Ces tuyaux ne peuvent que nuire à la qualité du vin, en mettant obstacle à l'introduction de l'air; sous d'autres rapports, ils sont d'ailleurs complétement inutiles, et ne doivent qu'à une routine grossière d'être ainsi conservés.

(1) Voici ce que m'écrivit, en avril 1843, M. Babo, l'un des plus intelligents agronomes et vinicoles du grand-duché de Bade : « Je puis vous annoncer qu'ayant, l'automne dernier, appliqué le procédé bavarois à la préparation de mon vin rouge, j'en ai encore eu des résultats fort avantageux. Nos vinicoles ne comprennent pas, quelque évidente que soit la chose, qu'un procédé dont l'efficacité est si bien constatée pour la bière puisse également convenir à la fabrication du vin. »

Une expérience, faite par M. Babo, dans l'automne de 1841, avec du vin rouge, avait eu d'aussi bons résultats, surtout par rapport à la couleur; et, cependant, c'était précisément dans la fermentation du vin rouge que le nouveau procédé semblait devoir échouer. Après des résultats aussi favorables, je ne doute plus qu'il ne soit susceptible d'une application générale.

SEIZIÈME LETTRE.

Influence de l'ébullition sur la faculté que possèdent les matières organiques de fermenter ou de se pourrir. — Méthode de M. Gay-Lussac pour la conservation des matières organiques. — Hypothèses sur la fermentation et la putréfaction. — Champignons de la levure, cause de la fermentation. — Animaux microscopiques, cause de la putréfaction.—Dégagement d'oxygène par l'eau, contenant des matières organiques. Expériences de Rumford, de Pfankuch, de Wœhler, de MM. Charles et Auguste Morren.

La propriété que possèdent les matières organiques d'entrer en fermentation ou de se pourrir au contact de l'air, et de provoquer ensuite le même état dans d'autres substances, cette propriété disparaît entièrement à la température de l'ébullition. Ce fait qui est général, prouve assurément, de la manière la plus concluante, que la grande altérabilité de ces corps est dans un certain rapport avec le mode de groupement de leurs molécules. On n'a qu'à se rappeler la coagulation du blanc d'œuf par la chaleur, pour saisir comment la chaleur agit dans ce cas. La plupart des agents de la fermentation ont une composition semblable à celle du blanc d'œuf, et passent sous une nouvelle forme par l'action de la chaleur.

Quand on laisse, pendant quelques instants, dans l'eau bouillante, des amandes douces mondées, leur ac-

tion sur l'amygdaline se trouve entièrement anéantie; cette substance se dissout sans altération dans un lait d'amandes chauffé à l'ébullition. L'extrait d'orge perd aussi par l'ébullition la propriété de convertir l'amidon en sucre.

Le lait frais des animaux se prend, au bout de deux ou trois jours, en une masse gélatineuse que tout le monde connaît. Mais, en le faisant bouillir tous les jours, on peut le conserver indéfiniment. La décomposition qu'éprouve le caséum dissous au contact de l'air, est donc entièrement arrêtée par l'ébullition, et il faut alors l'action prolongée de l'oxygène pour qu'elle se manifeste de nouveau. Il en est de même du jus de raisin, si altérable, ainsi que de tous les liquides susceptibles de fermenter ; portés à l'ébullition, ils cessent entièrement de fermenter. Lorsqu'il s'agit d'exciter promptement la fermentation dans le moût de bière bouilli, il faut y ajouter de la levûre, c'est-à-dire une substance qui se trouve déjà elle-même dans un état de décomposition.

Si l'on arrête, à l'aide de la chaleur, la décomposition particulière qu'éprouvent toutes les substances fermentescibles ou putréfiables par leur contact à l'air, quand même elles n'y seraient exposées qu'un instant ; si, ensuite, on les met à l'abri de l'oxygène, qui est la cause de leur première altération et de leur nouvelle métamorphose, il est évident que ces substances devront conserver indéfiniment les propriétés qu'elles avaient après avoir été portées à la température de l'ébullition. A elle seule, la matière n'est pas susceptible d'entrer en mouvement ; les molécules conservent leurs propriétés et ne changent pas de place, à moins d'être soumises à l'action d'une cause extérieure.

Lorsqu'on remplit une bouteille de moût de raisin, et qu'après l'avoir bouchée hermétiquement on la maintient dans l'eau bouillante, pendant quelques heures ou du moins jusqu'à ce que le moût ait pris la température de l'eau, la petite quantité d'oxygène contenue dans l'air qui est resté dans la bouteille, se fixe sur les parties constituantes du jus de raisin. De cette manière on écarte la cause de l'altération du jus ; aussi, à partir de ce moment, le jus ne fermente plus, il conserve sa saveur sucrée, et cet état se maintient jusqu'au moment où l'on ouvre la bouteille, c'est-à-dire jusqu'au moment où le liquide entre de nouveau en contact avec l'air. Dans ce dernier cas, le moût éprouve la même altération que le moût récent, la fermentation s'y établit dans l'espace de quelques heures, et cette altération peut encore être suspendue par une nouvelle ébullition.

Les observations précédentes qui s'appliquent en général à toutes les matières organiques, ont conduit à une foule d'applications intéressantes. Autrefois, dans les longues traversées, la nourriture des marins se bornant aux viandes fumées et salées, finissait par devenir préjudiciable à la santé de l'équipage et des passagers, et les hommes succombaient à ce régime par milliers, par suite de cette privation d'aliments frais, si indispensables aux malades. Aujourd'hui, les dangers et les inconvénients que présentaient autrefois les voyages sur mer deviennent, sous ce rapport, de plus en plus rares. C'est là certainement un des plus grands services rendus à l'humanité par la science ; nous le devons à M. Gay-Lussac.

A Leith, près d'Édimbourg, à Aberdeen, à Bordeaux,

à Marseille, en Allemagne, il s'est formé de grands établissements dans lesquels on prépare, avec beaucoup de soin, des soupes, des légumes, des viandes de toute espèce, qui s'expédient dans les pays les plus lointains. Les aliments ainsi préparés sont renfermés dans des boîtes en fer-blanc dont le couvercle est ensuite soudé hermétiquement ; puis, on expose les boîtes dans un appareil particulier, à la température de l'eau bouillante. Quand la chaleur a pénétré tout le contenu des boîtes, ce qui exige trois ou quatre heures, ces aliments acquièrent ainsi une durée, on peut dire éternelle. Lorsqu'on ouvre ces boîtes, après quelques années, les aliments ont le même aspect qu'au moment de leur introduction ; la couleur, l'odeur, le goût des viandes et des légumes se trouvent conservés sans altération.

Ce précieux moyen de conserver les aliments s'est introduit dans une foule de ménages d'Allemagne, par exemple à Francfort, à Darmstadt, et nos maîtresses de maison lui doivent de pouvoir, en plein hiver, orner leurs tables des légumes et des mets recherchés qu'on ne pouvait auparavant se procurer que dans d'autres saisons.

Une autre application fort importante de ce procédé consiste dans l'approvisionnement des places fortes. La perte qu'entraîne toujours la vente des vieilles provisions de bouche, et l'achat de vivres frais, de viandes, de jambon, cette perte est bien supérieure au prix des boîtes dont nous parlons, et d'ailleurs elles peuvent resservir, si l'on a soin de les nettoyer convenablement.

Je ne terminerai pas ces longues considérations sur les phénomènes si remarquables que présentent les plantes et les animaux après la mort, sans m'arrêter

un instant sur l'opinion, professée par certains naturalistes, et en particulier par quelques médecins, sur les causes de ces phénomènes.

Ces savants considèrent la fermentation, ou la résolution des molécules organiques complexes en combinaisons plus simples, comme l'effet des manifestations vitales de végétaux particuliers; et la putréfaction qui est le même phénomène pour les substances animales, comme le résultat du développement de la présence de certains animalcules. Suivant eux, la décomposition de la molécule du sucre en acide carbonique et en alcool, s'effectuerait à la suite du développement d'unè plante d'un ordre inférieur, d'un véritable champignon, lequel constituerait la levûre; d'un autre côté, ils attribuent la putréfaction des matières animales à l'acte vital des animalcules microscopiques qu'on y rencontre, dans la plupart des cas.

Admettons un moment que ces phénomènes de déoomposition soient déterminés par la levûre ou par les animalcules , de telle sorte que le sucre serve d'aliment aux champignons de la levûre, et que les matières animales en putréfaction deviennent la nourriture des animalcules : les corps nouveaux , nés de la fermentation et de la putréfaction, seraient donc les produits de l'acte vital des plantes ou des animalcules, produits comparables aux excréments liquides, solides ou gazeux, des végétaux et des animaux supérieurs. Nous pourrions admettre aussi que la force qui maintient ensemble les molécules organiques complexes, se neutralise par le contact de ces ferments vivants, dont l'action vitale troublerait donc l'équilibre des molécules pour leur imprimer une direction nouvelle.

Voilà deux hypothèses que nous aurions dû peut-être discuter avant d'établir la théorie que nous avons adoptée pour les phénomènes de fermentation. Mais il faut songer qu'il ne suffit pas, pour les expliquer, d'avoir observé la présence des champignons ou des animalcules dans les matières en fermentation ou en putréfaction ; il faut, avant tout, examiner de quelle manière ils produisent cet effet. Or, jusqu'à présent rien n'a été fait à cet égard, et, avec ces hypothèses, les phénomènes dont nous parlons, sont tout aussi inexplicables, et même plus obscurs qu'ils ne l'ont jamais été.

On devrait rejeter l'opinion que nous combattons, quand ce ne serait qu'à cause de la méthode qui y a conduit. Rappelons-nous en effet, qu'on était allé, jadis, jusqu'à attribuer à l'économie animale le pouvoir d'engendrer la chaux des os et de la coquille des œufs d'oiseaux, l'acide phosphorique du cerveau, le fer de la matière du sang, à l'aide de substances qu'on ne savait même pas de quel nom désigner. Aujourd'hui la présence de ces substances dans l'organisme a cessé d'être mystérieuse, depuis qu'on les a toujours rencontrées dans les aliments eux-mêmes. Attribuer à la puissance créatrice de la nature, la production des alcalis qu'on constate dans les cendres végétales, la formation des poissons dans des lieux où il n'y en avait pas d'abord ou des plantes dans un sol où l'on n'avait jamais soupçonné aucune semence, ce sont là des opinions appartenant à l'enfance de la science, et indignes de notre époque, qui doit apporter la lumière, et non pas nous plonger dans des ténèbres encore plus épaisses.

Si les champignons avaient en général la propriété de déterminer la fermentation, de dédoubler le sucre

en acide carbonique, et en alcool, on comprendrait à la rigueur la possibilité de cette opinion ; mais il n'y a pas un seul champignon qui présente cette propriété à l'état vivant.

La levûre renferme du carbone et de l'azote dans les mêmes proportions que les principes du sang ; aucun champignon ne possède une semblable composition. Le jus de raisin, et le moût de bière ne renferment pas la levûre toute faite, mais elle ne se produit que pendant la fermentation.

Si la fermentation est la conséquence du développement et de la multiplication des champignons, comment se fait-il donc que le sucre pur entre en fermentation au contact de la levûre toute formée, et composée de champignons dont le développement et l'accroissement sont arrivés à leur terme. Comment se fait-il que la fermentation s'établisse alors, non par l'effet de l'augmentation et de la croissance de ces champignons, mais par celui de leur disparition ? La fermentation du moût de vin, et celle du moût de bière, ne sont pas des phénomènes isolés, ce ne sont que des cas particuliers, parmi des faits innombrables, appartenant à la même catégorie.

Il n'est donc pas permis d'expliquer la cause de ces phénomènes, en se basant sur des observations incomplètes et sur des hypothèses entièrement arbitraires.

Comme la levûre, le caséum des animaux provoque la décomposition du sucre en alcool et acide carbonique ; le lait d'amandes possède aussi la même propriété, et cependant ces deux ferments ne présentent jamais, comme la lie, ou la levure de bière, une forme semblable à celle des sporules de beaucoup de cham-

pignons. En adoptant l'opinion que je combats, on oublie entièrement que les produits, auxquels donnent naissance les matières en fermentation ou en putréfaction, varient suivant la température et d'autres circonstances; on oublie que la décomposition du sucre en alcool et acide carbonique, ou en acide lactique, mannite et acide butyrique, ou en huile de pommes de terre, provient nécessairement d'une seule et même cause, et que les ferments déterminant ces différentes métamorphoses, ne possèdent pas toujours ces caractères physiques qui les font ressembler aux végétaux inférieurs. Si la fermentation était l'effet d'une action vitale, il faudrait évidemment que les ferments eussent toujours la forme d'un être organique.

Quant à l'opinion qui veut expliquer par les animalcules microscopiques la putréfaction des substances animales, on peut la comparer à celle d'un enfant qui croirait expliquer la rapidité du Rhin en l'attribuant au mouvement que les nombreux moulins, dans les environs de Mayence, impriment à l'eau dans la direction de Bingen.

Est-il permis de considérer des plantes et des animaux comme la cause de la destruction d'autres êtres organisés, quand ces plantes et ces animaux sont condamnés à succomber aux mêmes actions décomposantes?

Si le champignon est la cause de la destruction du chêne, si l'infusoire est la cause de la putréfaction de l'éléphant mort, quelle est donc la cause qui détermine la putréfaction du champignon et de l'animalcule, quand la vie s'est aussi retirée d'eux? Ils fermentent, ils se pourrissent, ils se détruisent, comme

l'arbre, comme l'éléphant, et donnent finalement, comme eux, les mêmes produits !

Il est impossible de partager cette opinion en réfléchissant que la présence des animalcules microscopiques dans les matières putrides est entièrement fortuite, qu'on en peut souvent empêcher l'apparition en mettant ces matières à l'abri de la lumière, sans qu'elles cessent de fermenter ou de se putréfier. L'urine, le fromage, la bile, le sang, en putréfaction, manquent très-souvent de ces animalcules, et ceux-ci n'apparaissent qu'à une certaine époque, quand la fermentation ou la putréfaction s'y est établie depuis longtemps.

Expliquer la putréfaction par la présence des infusoires, c'est comme si l'on attribuait la décomposition des excréments animaux aux insectes qui viennent y fouiller pour y chercher leur nourriture, ou celle du fromage aux vers qu'on y rencontre.

L'existence des infusoires, dont le nombre est souvent si considérable dans les substances en pourriture, n'a rien qui doive nous surprendre ; ces animalcules y trouvent évidemment les conditions propres à leur développement et à leur nutrition. Leur apparition n'est pas plus extraordinaire que les migrations des saumons de la mer dans les rivières, ou la production des plantes salines dans le voisinage des marais salants. La seule différence, c'est que dans ces derniers cas nous voyons la route qui a été suivie, tandis que les germes des champignons et les œufs des infusoires sont trop petits par rapport à l'immense océan aérien qui les a transportés, et échappent donc à l'investigation de nos sens. Nous devons découvrir de ces êtres partout où le

développement de leurs germes ne rencontre aucun obstacle.

Certainement, leur présence accélère beaucoup la pourriture des substances organiques; c'est qu'ils emploient pour se nourrir, pour se développer les parties animales qui se décomposent, et par là celles-ci se détruisent naturellement plus vite. Chaque individu donne naissance, en fort peu de temps, à des milliers d'individus semblables à lui-même. La croissance de ces êtres est bornée à certaines limites; une fois qu'ils ont atteint une certaine dimension, ils ne se développent pas davantage, mais sans cesser pour cela de prendre de la nourriture. Que deviennent alors les aliments qu'ils absorbent depuis le moment où ils cessent de s'accroître? Ne doivent-ils pas subir, dans leur organisme, une altération semblable à celle qu'éprouve un morceau de viande ou d'os, dans le corps d'un chien adulte, quand les aliments ne servent plus à augmenter le poids de l'animal? Nous savons positivement que; dans ce dernier cas, la nourriture du chien sert à entretenir ses fonctions vitales pour être évacuée ensuite sous forme d'acide carbonique, et d'urée; l'urée se décompose elle-même très-promptement, en dehors de l'organisme, en acide carbonique et en ammoniaque. Les aliments éprouvent donc la même métamorphose que si on les brûlait à l'état sec dans un fourneau, ils se *pourrissent* dans le corps de l'animal.

La même chose a lieu dans les substances animales en décomposition. Elles servent de nourriture aux infusoires, elles se pourrissent dans l'organisme de ces animalcules; quand les aliments sont consommés, les infusoires meurent eux-mêmes, leurs cadavres entrent

en putréfaction, éprouvent une combustion lente et, probablement, servent ainsi au développement de nouvelles générations d'êtres microscopiques. Quoi qu'il en soit, le phénomène en lui-même est toujours une combustion par laquelle les éléments du corps primitif, avant de se brûler complétement, produisent des substances propres à composer l'organisme d'êtres vivants, une combustion dans laquelle les éléments parcourent une série de combinaisons intermédiaires avant de se résoudre dans les produits ultimes de la pourriture. Mais les parties qui se combinent avec l'oxygène dans le corps des animaux n'appartiennent plus à l'organisme vivant. Dans la putréfaction proprement dite, dans la décomposition des substances animales à l'abri de l'air, on voit se dégager des gaz, comme l'hydrogène sulfuré, dont l'action est délétère et qui tuent rapidement les infusoires. Jamais les excréments humains ne renferment des animalcules pendant la première période de la fermentation putride ; ces êtres s'y établissent au contraire en grand nombre quand les éléments éprouvent la combustion lente ou pourriture proprement dite.

C'est par une sage prévoyance que la nature a assigné pour nourriture à ces êtres microscopiques les cadavres des animaux supérieurs ; ces animalcules sont en même temps le moyen qu'elle emploie pour abréger autant que possible la durée de l'influence délétère, exercée par les produits de la fermentation putride sur la vie des animaux placés au haut de l'échelle.

Les découvertes qui ont été faites à cet égard, sont si extraordinaires et si surprenantes qu'elles méritent bien d'être plus connues. Déjà Rumford avait

observé que le coton, la soie, la laine et d'autres substances organiques, mises dans un vase rempli d'eau et exposées à la lumière solaire, donnent lieu, au bout de quelques jours, à un dégagement d'oxygène. Dès que les premières bulles de gaz apparaissent, l'eau prend une couleur verdâtre, et le microscope y découvre alors un grand nombre d'animalcules très-petits et presque ronds. C'est à ces animalcules que l'eau doit sa coloration. On n'y découvre, au contraire, aucune trace de conferve ni d'autres végétaux d'où pût provenir le dégagement de l'oxygène.

Ces expériences, faites il y a déjà 70 ans, ont été tirées de l'oubli par des observations plus récentes. Dans les réservoirs de la saline de Rodenberg (Hesse électorale), il se produit une matière mucilagineuse et transparente, qui couvre le fond à 1 ou 2 pouces. Cette matière est partout traversée par de grosses bulles de gaz, qui se détachent en grand nombre, quand on déchire avec un bâton les membranes environnantes. D'après les expériences de M. Pfankuch, ce gaz est si riche en oxygène, qu'un brin de bois en ignition s'y enflamme. M. Woehler a constaté le même fait ; ce chimiste a aussi reconnu, par l'examen microscopique, que le mucilage ne se compose presque que d'infusoires vivants, appartennant aux genres *Navicula* et *Gaillionella*, et qui se rencontrent aussi dans les formations papyracées de Freiberg et dans le tuf siliceux de Franzensbad.

Cette substance, lavée et séchée, a donné de l'ammoniaque par la calcination, en laissant une cendre blanche, composée d'un squelette siliceux, ayant si parfaitement conservé la forme des animalcules que, sans

l'absence totale du mouvement, on aurait cru voir le mucilage récent.

Presque à la même époque, MM. Auguste et Charles Morren firent voir (1) que, par le concours de certaines circonstances organiques, l'eau développe un gaz qui renferme jusqu'à 61 pour 100 d'oxygène. Ils attribuent ce phénomène au *Chlamidomonas pulvisculus* (Ehrenb.) et à d'autres animalcules verts ou rouges, placés encore plus bas dans l'échelle organique.

Une eau très-verte, colorée par plusieurs espèces d'infusoires, et qui se trouvait dans l'auge du puits de mon jardin, m'a fourni l'occasion de me convaincre par moi-même de l'exactitude de ce fait remarquable. Cette eau ayant été passée à travers un tamis très-fin, pour la débarrasser de toutes les parties végétales, fut renfermée dans un verre à pied, qu'on renversa dans un vase renfermant la même eau ; ensuite on l'abandonna aux rayons solaires. Au bout de quinze jours, on trouva dans le verre plus de 30 centimètres cubes de gaz oxygène si pur qu'il enflammait une allumette en ignition.

Sans me permettre aucune induction relativement au mode de nutrition de ces animalcules, il me paraît certain, cependant, que, sous l'influence de la lumière, il se développe une source d'oxygène dans l'eau renfermant des infusoires vivants ; que cette eau, à partir du moment où les animalcules y apparaissent, cesse d'agir sur les animaux ou sur les plantes d'une manière nuisible ou pernicieuse, car il est impossible qu'il se dégage de l'oxygène pur d'une eau renfermant encore des matières en putréfaction et capables de se combi-

(1) Mémoires de l'Académie des sciences de Bruxelles, 1841.

ner avec cet oxygène. Si l'on ajoute à une pareille eau des substances putrescentes, celles-ci, en présence de la source d'oxygène, se transforment donc en leurs produits d'oxydation ultimes, bien plus rapidement que dans une eau qui ne contient pas d'infusoires.

Les espèces les plus répandues de ces animalcules (les vertes et les rouges) offrent donc à la nature un moyen d'une merveilleuse simplicité pour purifier l'eau de toutes les substances délétères, capables de porter atteinte à la vie des animaux supérieurs, et pour y substituer les matières propres à la nutrition des plantes, ainsi que l'oxygène indispensable à la respiration des animaux.

Ces animalcules ne sauraient donc être les causes de la putréfaction, celles de la production des corps nuisibles à l'économie des plantes et des animaux; une sagesse infinie, au contraire, les destine à hâter la décomposition ultime des substances organiques en voie de putréfaction.

Parmi les champignons, il en est un grand nombre qui se développent à l'abri complet de la lumière, et dont la croissance est accompagnée de tous les phénomènes qui caractérisent la vie animale; ils corrompent l'air et le rendent irrespirable, en absorbant de l'oxygène et exhalant de l'acide carbonique. Sous ce rapport, ils se comportent donc comme des animaux dépourvus de mouvement.

En opposition à cette classe d'êtres organisés qui méritent à peine le nom de plantes, il existe des êtres, doués de mouvement, de tous les organes caractéristiques des animaux, et qui se comportent à la lumière comme des plantes vertes; des êtres dont, par consé-

quent, le développement devient une source d'oxygène, pénétrant partout où l'accès de l'air est intercepté.

Il est évident que les infusoires ne peuvent se produire et se développer que dans les lieux qui leur offrent les aliments nécessaires, en abondance et sous une forme convenable. Plusieurs espèces d'infusoires très-répandus, se distinguent par les deux substances minérales qui entrent dans leur composition. Ainsi, la silice constitue les coquilles et les carapaces de plusieurs espèces de navicules, d'exilaires, de bacillaires, etc.; l'oxyde de fer entre dans la compositon de beaucoup de gaillionelles. Le carbonate calcaire des animalcules de la craie est identique à celui qui constitue l'enveloppe des testacés ordinaires.

On est allé jusqu'à attribuer à l'activité vitale des infusoires antédiluviens les énormes dépôts de silice, de chaux, d'oxyde de fer dans les tufs siliceux, dans le tripoli, les schistes siliceux, la craie, le fer limoneux. Mais on a oublié que la silice, la chaux et l'oxyde de fer avaient été les conditions indispensables au développement des animalcules, et que ces substances se rencontrent encore aujourd'hui dans la mer, dans les lacs, dans les marais, partout où se trouvent aussi les mêmes animaux.

L'eau, au sein de laquelle vivaient ces infusoires fossiles, contenait en dissolution de la silice et de la craie. Ces matières s'y trouvaient donc dans des conditions entièrement favorables pour se déposer sous forme de marbre, de quartz ou d'autres roches semblables, après l'évaporation de l'eau. Ces dépôts se seraient sans doute formés comme à l'ordinaire, si l'eau n'avait pas renfermé en même temps les débris en putréfaction des races ani-

males antérieures, et, par cela même, les autres conditions nécessaires à la vie des infusoires crayeux et siliceux,

Si ces substances ne se fussent pas trouvées réunies, aucune de ces classes animales ne se fût propagée et multipliée au point de produire des masses si énormes. Les animalcules n'ont été que la cause fortuite de la texture particulière à ces dépôts; je dis fortuite, car la précipitation de la chaux, de la silice, de l'oxyde de fer, se fût aussi effectuée sans la présence de ces animaux. L'eau de la mer renferme la chaux des coraux et des innombrables testacés qui y vivent sous la même forme que dans les lacs et dans les marais, au sein desquels se sont développés les animalcules dont les débris constituent aujourd'hui le calcaire coquiller.

Il est assez merveilleux déjà que l'économie vivante soit capable de produire, avec quatre éléments seulement, un nombre de combinaisons qui est infini, même dans le sens mathématique; que la force inhérente à l'organisme puisse, avec le carbone, l'azote, l'hydrogène et l'oxygène, produire des corps, possédant toutes les propriétés des oxydes métalliques, des acides inorganiques et des sels, en sorte qu'à la limite où se termine la série des combinaisons formées par ce que nous appelons les éléments inorganiques, commence une autre série de combinaisons dont nous ne saurions embrasser toute l'étendue. Le règne inorganique tout entier, toutes ces nombreuses combinaisons de métaux et de corps non métalliques se reproduisent dans le règne organique. Le carbone et l'azote, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, l'azote et l'hydrogène, produisent des molécules complexes dont les propriétés

ressemblent entièrement à celles du chlore, de l'oxygène ou du soufre, et cette analogie ne se borne pas à une seule, elle s'étend à toutes les propriétés.

Où trouver un corps plus extraordinaire que le cyanogène, ce gaz composé de carbone et d'azote, où les métaux brûlent, avec dégagement de lumière et de chaleur, comme dans l'oxygène? Voilà donc un corps composé, dont les propriétés et la manière d'être sont celles d'un corps simple, d'un élément dont les molécules présentent la même forme que le chlore, le brome et l'iode, si bien qu'il peut les remplacer sans altérer la forme cristalline des composés! Voilà comment agit la force créatrice de l'organisme vivant; elle peut grouper, dans une infinité de directions, les atomes des éléments, de manière à produire de semblables métaux composés, de semblables métalloïdes composés; mais il n'existe dans la nature aucune force capable de transmuter des corps simples et d'anéantir les causes auxquelles la matière doit ses propriétés. Le fer ne cesse jamais d'être du fer, le carbone reste toujours du carbone, l'hydrogène reste toujours de l'hydrogène; les éléments des matières organiques ne peuvent jamais produire du fer, du soufre ou du phosphore. Dans cinquante ans d'ici, notre époque, qui a enseigné ces transmutations impossibles, excitera le même sourire de pitié que nous donnons aujourd'hui aux temps où florissait l'alchimie.

Mais il est dans la nature de l'homme de se laisser entraîner à de semblables erreurs, quand son intelligence, comme celle de l'enfant, est encore trop peu développée pour comprendre la vérité. Les connaissances, les acquisitions de l'esprit augmentent notre

puissance matérielle comme le feraient les objets qui satisfont aux besoins ordinaires de la vie ; mais ce n'est qu'au prix du travail et de grands efforts que nous découvrons la vérité. L'indigence ne vient que du manque de volonté, les moyens se trouvent partout.

DIX-SEPTIÈME LETTRE.

Rapports de la chimie avec la physiologie. — Classification des aliments en aliments de nutrition et en aliments de respiration. — Action de l'oxygène atmosphérique. — Équilibre entre le carbone et l'oxygène.

Un des résultats les plus remarquables de la science moderne, c'est d'avoir opéré entre la chimie et la physiologie une alliance qui a jeté une lumière nouvelle et inattendue sur les fonctions vitales des plantes et de sanimaux.

Grâce à elle, nous savons aujourd'hui ce qu'il faut entendre par les mots *aliment, poison, médicament :* les notions sur la faim, sur la mort, ne se bornent plus à la simple description d'un état particulier. Nous savons, d'une manière positive, que les aliments de l'homme sont à diviser en deux grandes classes, l'une comprenant ceux qui servent proprement à la nutrition et à la reproduction, l'autre, ceux qui jouent un tout autre rôle dans l'économie. Nous pouvons démontrer, avec une rigueur presque mathématique, que la bière n'est pas nourrissante, qu'elle ne renferme aucun principe capable de se transformer en sang, en fibre musculaire,

ou en un autre organe de l'activité vitale. Les idées, relatives au rôle de la bière, du sucre, de l'amidon, de la gomme, dans les actes vitaux, ont éprouvé une révolution si complète que le lecteur me saura gré, je l'espère, de lui faire connaître aujourd'hui le résultat des recherches récentes qui ont été faites à cet égard.

Les premières conditions de la vie animale sont l'introduction, dans l'organisme, de substances alimentaires, et l'absorption de l'oxygène contenu dans l'air atmosphérique. Pendant la vie, l'homme et les animaux absorbent constamment de l'oxygène par leurs organes respiratoires; jamais cette fonction ne s'arrête.

Les physiologistes ont constaté par de nombreuses observations que le poids du corps d'un homme adulte, convenablement nourri, ne se trouve, au bout de vingt-quatre heures, ni augmenté ni diminué, et cependant la quantité d'oxygène absorbé par les organes pendant cet intervalle est extrêmement considérable. Car, suivant les expériences de Lavoisier, un homme adulte puise dans l'atmosphère, dans l'espace d'une année, 373 kilogrammes d'oxygène; d'après Menzies, il en prend 411 kilogrammes; son poids est le même au commencement et à la fin de l'année; tout au plus on y trouve une augmentation ou une diminution de quelques livres.

Qu'est alors devenue cette énorme quantité d'oxygène prise dans l'air par un seul individu? Cette question peut être résolue d'une manière fort positive. En effet, cet oxygène ne reste pas dans le corps; il en ressort sous la forme d'une combinaison carbonée ou hydrogénée; il s'unit au carbone et à l'hydrogène de certaines parties de l'organisme, et est ensuite évacué par

la peau et le poumon à l'état d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

Par chaque mouvement respiratoire et pendant toute la durée de la vie, les organes, après s'être combinés avec l'oxygène atmosphérique, cèdent ainsi une partie des substances qui les composent.

Admettons, avec Lavoisier et Séguin, pour baser notre raisonnement sur une donnée expérimentale, qu'un homme adulte absorbe par jour 1015 gr. d'oxygène; supposons en outre que le corps de cet homme renferme 12,000 gr. de sang. Ce sang contient 80 pour 100 d'eau; pour transformer complétement son carbone et son hydrogène en acide carbonique et eau, il faut 4271 gr. d'oxygène. Or cette quantité d'oxygène pénètre dans le corps d'un adulte dans l'espace de quatre jours et de cinq heures.

Quel que soit le mode d'action de l'oxygène absorbé pendant la respiration, qu'il se fixe directement sur les principes du sang ou sur d'autres matières carbonées ou hydrogénées du corps, rien ne s'oppose à cette conclusion : qu'un individu, aspirant par jour 1015 grammes d'oxygène, doit reprendre par les aliments autant de carbone et d'hydrogène qu'il en était contenu dans 12 kilog. de sang. Bien entendu, le corps est censé rester dans son état normal, son poids est supposé ne pas varier. La réparation de ces pertes se fait nécessairement par les aliments.

On a en effet trouvé, en déterminant la quantité de carbone ingérée dans le corps par les aliments ainsi que la quantité de carbone rejetée par les fèces et les urines à l'état non brûlé, c'est-à-dire sous une forme autre que celle d'une combinaison oxygénée, qu'un

homme adulte qui se maintient dans un mouvement modéré, consomme par jour 435 gr. de carbone (1).

Ces 435 gr. s'échappent par la peau et par le poumon sous forme d'acide carbonique ; or, pour se transformer en ce gaz, ils exigent 1157 gr. d'oxygène.

Suivant les analyses de M. Boussingault (*Ann. de chimie et de phys.*, LXXI, p. 236), un cheval consomme dans vingt-quatre heures 2465 gr. de carbone ; une vache laitière en consomme 2212 gr. Ces quantités de carbone sont rejetées à l'état d'acide carbonique ; le cheval emploie, pour convertir ce carbone en acide

(1) Les nombres que nous donnons ici, représentent une moyenne déduite d'observations qui ont été faites sur 856 soldats casernés. Leurs aliments, pain, pommes de terre, viande, lentilles, pois, haricots, etc., furent, à l'exception du poivre, du sel et du beurre, pesés avec soin pendant un mois, et analysés séparément. Tous les hommes étaient au même régime, sauf trois fusiliers qui, outre la ration de pain prescrite (2 livres par jour) recevaient en sus, chaque jour de paye, un demi-pain du poids de 2 $^1/_2$ livres, ainsi qu'un tambour qui avait un demi-pain de reste. On n'a pas compris, dans les évaluations précédentes, la quantité de carbone contenue dans les légumes frais, dans la choucroûte, ainsi que dans ce que les soldats prenaient le soir. D'après une évaluation approximative du sergent-major, chaque soldat consomme, par jour, terme moyen : 3 onces de saucisse, 1 $^1/_2$ once de beurre, $^1/_4$ litre de bière et $^1/_{20}$ litre d'eau-de-vie. La quantité de carbone contenue dans tous ces aliments était plus que double de celle des fèces et de l'urine. Chez un soldat, les fèces s'élèvent, terme moyen, à 5 $^3/_4$ onces par jour ; elles contiennent 75 p. c. d'eau, et le résidu solide se compose, en centièmes, de 46,24 carbone et de 13,15 cendres. 100 p. de fèces récents renferment par conséquent 11,31 p. de carbone, c'est-à-dire sensiblement la même proportion qu'un poids égal de viande fraîche. Dans le calcul ci-dessus on a supposé, égal au carbone des fèces et de l'urine, le carbone des légumes frais, et des aliments pris au cabaret.

carbonique, 6504 gr. d'oxygène; la vache en use 5833 gr.

Puisque aucune partie de l'oxygène absorbé ne ressort du corps sous une forme autre que celle d'une combinaison hydrogénée ou carbonée, et que de plus, dans l'état de santé, le carbone et l'hydrogène ainsi éliminés sont restitués par les aliments, il est évident que la quantité des aliments exigés pour la conservation des fonctions vitales doit être en rapport direct avec la quantité de l'oxygène absorbé.

Deux animaux qui dans le même temps absorbent par la peau et le poumon des quantités inégales d'oxygène, doivent donc consommer des poids différents du même aliment, et comme la consommation de l'oxygène peut, pour des temps égaux, s'exprimer par le nombre des inspirations, il en résulte que pour le même individu la quantité de nourriture à prendre varie suivant le nombre et l'étendue des inspirations.

On voit, d'après cela, que les enfants, chez qui les organes respiratoires sont plus actifs que ceux d'un homme adulte, supportent la faim moins bien que lui; ils doivent donc prendre plus de nourriture et proportionnellement en plus grande quantité.

Un oiseau privé de nourriture meurt le troisième jour. Un serpent placé pendant une heure sous une cloche aspire à peine assez d'oxygène pour que l'acide carbonique produit devienne sensible; aussi peut-il vivre sans nourriture pendant trois mois et même plus longtemps.

Dans l'état de repos, le nombre des mouvements respiratoires est moindre que dans l'état d'agitation et de travail; la quantité de nourriture nécessaire dans

ces deux états se trouve naturellement dans le même rapport. Ainsi on peut dire que l'abondance de nourriture est incompatible avec le manque d'oxygène et de mouvement, tout comme un excès de mouvement qui nécessite une grande quantité de nourriture ne comporte aucune faiblesse dans les organes digestifs.

La quantité d'oxygène inspirée par le poumon dépend non-seulement du nombre des inspirations, mais aussi de la température et de la densité de l'air.

En effet, la capacité de la poitrine d'un animal restant toujours la même, il y entre, par chaque inspiration, un même volume d'air; mais le poids de cet air, et conséquemment aussi de l'oxygène qu'il renferme, varie nécessairement, car la chaleur dilate l'air et le froid le contracte. Dans deux volumes égaux d'air froid et d'air chaud il y a donc un poids inégal d'oxygène.

En été l'air atmosphérique renferme de la vapeur d'eau, en hiver il est sec; l'espace occupé par la vapeur aqueuse dans l'air chaud, est remplacé en hiver par de l'air, c'est-à-dire qu'à volume égal l'air renferme plus d'oxygène en hiver qu'en été.

Nous respirons toujours le même volume d'air, en été comme en hiver, aux pôles comme sous l'équateur; l'air froid s'échauffe en entrant dans le larynx et dans les cellules du poumon, de manière à prendre la température du corps. Ainsi, pour introduire dans le poumon une certaine quantité d'oxygène, il faut en hiver une dépense de force moindre qu'en été; à dépense égale, on respire plus d'oxygène en hiver.

De même, au bord de la mer, nous absorbons, par le même nombre d'inspirations, une plus grande quantité d'oxygène que sur le haut des montagnes, et l'on

peut dire que la quantité d'acide carbonique rejetée par le poumon, ainsi que l'oxygène absorbé par lui, varie suivant la pression barométrique.

Nous rejetons, en hiver comme en été, l'oxygène à l'état de la même combinaison ; mais, à une basse température et sous une forte pression, nous expirons plus d'acide carbonique qu'à une température élevée. Nous devons, par conséquent, consommer par les aliments une proportion de carbone qui soit en rapport avec cette quantité ; en Suède il faut en prendre plus qu'en Sicile ; dans nos régions tempérées, en hiver sensiblement un huitième de plus qu'en été.

Lors même que nous consommerions, dans les pays froids et dans les pays chauds, la même quantité de nourriture, les aliments, par une disposition fort sage de la nature, renferment des quantités fort inégales de carbone ; en effet, les fruits des pays méridionaux ne contiennent, à l'état récent, pas plus de 12 pour 100 de carbone, tandis que le lard et les huiles de poisson dont se nourrit l'habitant des régions polaires, en renferment de 66 à 80 pour 100.

Dans les pays chauds, sous l'équateur, il est aisé de se soumettre au régime de la diète ou de supporter la faim, mais le froid et la faim réunis usent le corps en peu de temps.

L'action réciproque des principes alimentaires et de l'oxygène transporté dans l'organisme par l'effet de la circulation, voilà la *source de la chaleur animale*.

DIX-HUITIÈME LETTRE.

Chaleur animale ; ses lois, son influence sur les fonctions de l'économie animale. — Pertes et réparation. — Influence du climat. — Sources de la chaleur animale. — Influence de l'oxygène dans les maladies. — Respiration.

La source de la chaleur animale, les lois d'après lesquelles elle se produit, l'influence qu'elle exerce sur les fonctions de l'économie animale, voilà, certes, des questions fort curieuses et instructives sur lesquelles je ne puis m'empêcher d'appeler votre attention.

Tous les êtres vivants dont l'existence est liée à une absorption d'oxygène possèdent en eux-mêmes une source de chaleur indépendante du milieu où ils vivent. Ce fait est vrai pour tous les animaux : il s'applique même à la graine germante, aux fleurs des plantes et aux fruits en maturation.

Il ne se produit de la chaleur que dans les parties de l'animal où arrive le sang artériel, où, par conséquent, l'oxygène atmosphérique peut pénétrer. Les poils, la laine, les plumes n'ont pas de chaleur propre.

Ce dégagement de chaleur dans le corps des animaux est, partout et dans toutes les circonstances, la conséquence de la combinaison d'une substance combustible avec l'oxygène. En effet, quelle que soit la forme sous laquelle le carbone, par exemple, se com-

bine avec l'oxygène, il est certain que cette combinaison ne peut s'accomplir sans être accompagnée de chaleur, n'importe qu'elle se fasse rapidement ou avec lenteur, à une température élevée ou à une température basse ; la quantité totale de chaleur dégagée dans cet acte reste toujours invariable. Ainsi, le carbone des aliments, en se transformant en acide carbonique dans le corps de l'animal, dégage autant de chaleur que s'il brûlait dans l'air ou dans l'oxygène ; il n'y a que cette différence que la quantité de chaleur produite dans le premier cas se répartit sur des temps inégaux ; dans l'oxygène pur, la combustion est très-vive et la température est par conséquent fort élevée ; dans l'air, la combustion est plus lente et la température plus basse, mais aussi elle se maintient plus longtemps.

D'après cela, il est évident que le nombre des degrés de chaleur devenus libres dans le corps des animaux doit diminuer ou augmenter suivant la quantité de l'oxygène qui y arrive, dans des temps égaux, par l'effet de l'acte respiratoire. Les animaux dont la respiration est vive et continue consomment, par conséquent, beaucoup d'oxygène. Les enfants, dont la température est de 39°, absorbent plus d'oxygène que les adultes chez qui elle est de 37°,5. Les oiseaux, dans le corps desquels le thermomètre marque 40° ou 41°, en absorbent plus que les quadrupèdes dont la température propre est de 37° ou 38° ; ils en prennent aussi plus que les poissons et les amphibies dont la température propre est de $^1/_2$ ou de 2 degrés plus élevée que celle du milieu ambiant.

A proprement parler, tous les animaux sont à sang chaud ; mais ce n'est que chez ceux qui respirent par

des poumons que la température propre est indépendante de la température du milieu.

Il résulte d'un grand nombre d'observations dignes de foi que la température de l'homme, ainsi que tous les animaux dits à sang chaud, reste la même dans tous les climats, dans la zône tempérée comme sous l'équateur ou aux pôles, malgré l'extrême différence des milieux où ils vivent.

Le corps des animaux se comporte avec les alentours absolument comme le font tous les corps chauds: il reçoit de la chaleur si la température extérieure est plus élevée que celle de l'animal; il lui en cède, au contraire, si le milieu où l'animal respire est à une température plus basse. Or, la vitesse du refroidissement de tout corps chaud se règle sur la différence qui existe entre sa température et celle du milieu, c'est-à-dire que plus le milieu est froid, plus le refroidissement du corps est prompt. On conçoit, d'après cela, la différence considérable qui doit exister entre la perte de chaleur éprouvée par un homme vivant à Palerme, par exemple, où la température extérieure est sensiblement égale à celle du corps, et la perte de chaleur subie par un habitant des pôles, où la température atmosphérique lui est inférieure de 40 ou de 50 degrés. Malgré cette déperdition si différente, le sang du Lapon n'est pas moins chaud que le sang de l'habitant des pays méridionaux. Cela prouve donc, d'une manière irrécusable, que la chaleur cédée par le corps à l'extérieur est remplacée dans l'organisme avec beaucoup de rapidité, et que cette restitution doit se faire plus promptement en hiver et aux pôles qu'en été et sous l'équateur.

La quantité d'oxygène absorbée par les mouvements respiratoires varie, dans les différents climats, suivant la température de l'air extérieur. Il faut donc, pour que le corps se maintienne à la même température, que la quantité de cet oxygène croisse en raison directe de la déperdition de chaleur causée par la mise en équilibre de la température du corps avec la température ambiante; ce qui revient à dire que les quantités de carbone et d'hydrogène nécessaires à la combinaison avec cet oxygène doivent s'accroître dans le même rapport.

La restitution de la chaleur perdue s'effectue par l'action réciproque des principes alimentaires et de l'oxygène respiré. Peu importent les formes que prennent peu à peu les aliments sous l'influence des organes, peu importent leurs transformations directes; en thèse finale, leur carbone se trouve toujours transformé en acide carbonique, leur hydrogène en eau; l'azote et le charbon non brûlé sont évacués par les urines et par les excréments solides. Disons, pour nous servir d'une comparaison triviale, mais fort juste, que le corps des animaux se comporte, sous ce rapport, comme un poêle qu'on munit de combustible : pour avoir dans le poêle une température constante, il faut, suivant les variations de la température extérieure, l'alimenter avec des quantités différentes de combustible. Les aliments sont pour le corps de l'animal ce que le combustible est pour le poêle; l'oxygène a-t-il suffisamment accès, il en résulte de la chaleur qui devient sensible.

En hiver, lorsque nous sommes dans l'air froid, où la quantité de l'oxygène inspiré est, par conséquent, le plus forte, nous sentons s'accroître, dans le même

rapport, le besoin des aliments carbonés et hydrogénés; lorsque ce besoin est satisfait, le corps peut résister aux froids les plus intenses. Réciproquement, la faim produit dans le corps la sensation du froid. Il est bien reconnu aussi que les animaux sauvages des pays polaires surpassent en voracité ceux des contrées méridionales.

Dans la zone froide et dans la zone tempérée, l'air, qui, sans cesse, cherche à consumer le corps, nous pousse au travail qui nous procure les moyens de résister à cette action; dans les pays chauds, au contraire, l'activité de l'homme est moindre, car le besoin de nourriture est loin d'y être aussi urgent.

Nos vêtements ne sont que des équivalents pour les aliments, car plus nous nous couvrons chaudement, plus nous sentons diminuer le besoin de manger, par la raison que le corps, dans cet état, perd moins de chaleur, se refroidit moins, et qu'alors la réparation nécessaire par les aliments devient aussi moindre. Si nous allions nus comme les sauvages ou que nous fussions à la chasse et à la pêche, exposés au froid glacial des régions polaires, notre estomac supporterait, sans être incommodé, les mêmes quantités d'eau-de-vie, d'huile de poisson que nous voyons prendre aux habitants de ces contrées. Cela n'a rien qui doive nous étonner; le carbone et l'hydrogène de ces aliments serviraient à mettre notre corps en équilibre de température avec l'atmosphère.

Il résulte de ce qui précède que la quantité des aliments à consommer se règle sur le nombre des inspirations, sur la température de l'air inspiré et sur la quantité de chaleur cédée par le corps à l'extérieur.

Aucun fait isolé ne s'oppose à la vérité de cette loi. Sans nuire à la santé d'une manière passagère ou durable, les habitants du Midi ne sauraient, dans leurs aliments, prendre plus de carbone et d'hydrogène qu'ils n'en exhalent par la respiration; de même, les habitants du Nord ne peuvent, à moins d'être malades ou de souffrir la faim, exhaler plus de carbone et d'hydrogène que les aliments n'en introduisent dans l'économie.

L'Anglais voit avec regret son appétit, qui lui procure des jouissances souvent renouvelées, se perdre dans la Jamaïque, et ce n'est qu'à l'aide d'excitants énergiques, avec du poivre de Cayenne, par exemple, qu'il réussit à y prendre la même quantité de nourriture que dans son pays. Mais le carbone de ces substances ne trouve aucun emploi dans le corps, car la température de l'air est trop élevée; la chaleur énervante du climat empêche le corps d'augmenter le nombre des inspirations par un mouvement soutenu, et conséquemment de mettre une proportion suffisante d'oxygène en rapport avec les matières consommées.

Les personnes dont les organes digestifs sont affaiblis, chez qui par conséquent l'estomac refuse de mettre les aliments dans l'état où ils conviennent à la combinaison avec l'oxygène, ne peuvent pas résister au rude climat de l'Angleterre; leur santé doit donc s'améliorer en Italie, et en général dans les pays méridionaux, car là elles respireront une proportion d'oxygène comparativement moins forte, et leurs organes auront encore assez de vigueur pour digérer une quantité moindre d'aliments. Si, au contraire, ces malades restent dans un pays froid, leurs organes respiratoires fi-

nissent eux-mêmes par succomber à l'action de l'oxygène.

Chez nous, on voit en été prédominer les maladies du foie (maladies de carbone), tandis qu'en hiver les maladies pulmonaires (maladies d'oxygène) sont plus fréquentes.

Le refroidissement du corps, n'importe par quelle cause, augmente le besoin de manger. Ainsi, le séjour dans le grand air, dans une voiture de voyage ou sur le pont d'un bateau, rehausse déjà l'appétit, sans que nous nous donnions du mouvement, car le corps se refroidit assez par le rayonnement de la chaleur émanée de lui et par la transpiration rapide.

Il en est de même pour les personnes qui ont l'habitude de boire de grandes quantités d'eau; cette eau étant évacuée après avoir été portée à 37°, absorbe dans le corps beaucoup de chaleur; elle doit donc également augmenter l'appétit. Les personnes d'une constitution débile doivent, par un mouvement soutenu, ramener au corps l'oxygène nécessaire pour restituer la chaleur passée à l'eau froide.

Les efforts de la voix pour parler ou pour chanter, les cris des enfants, le séjour dans l'air humide, et beaucoup d'autres causes influent sur l'appétit par la même raison.

Nous avons admis, plus haut, que le carbone et l'hydrogène des aliments servent à se combiner avec l'oxygène et à produire la chaleur animale; les observations les plus simples démontrent, en effet, que l'hydrogène des aliments joue un rôle tout aussi important que leur carbone.

Pour bien saisir les phénomènes de la respiration,

examinons un animal dans l'état d'abstinence complète. Cet animal continue de respirer comme auparavant; il puise toujours de l'oxygène dans l'air et exhale de l'acide carbonique, ainsi que de la vapeur d'eau. La source qui fournit ces produits ne peut pas être douteuse, car nous voyons diminuer en même temps le carbone et l'hydrogène du corps de l'animal. Comme premier effet de la faim, nous remarquons la disparition de la graisse; mais cette graisse ne se retrouve ni dans les fèces ni dans les urines, son carbone et son hydrogène ont été évacués par la peau et le poumon, sous forme de combinaisons oxygénées, les parties constituantes de cette graisse ont donc servi à la respiration.

Il faut se rappeler qu'un homme absorbe par jour environ 1015 grammes d'oxygène; on peut donc juger de la perte considérable que doit éprouver un individu affamé, puisque chaque respiration lui fait par cet oxygène, perdre une partie de son corps.

Currie a vu un malade qui ne pouvait pas avaler, perdre, dans l'espace d'un mois, plus de 50 kilogrammes de son poids. Le même savant rapporte aussi qu'un porc gras, englouti par l'effet d'un éboulement, perdit 60 kilogrammes, après avoir vécu sous terre, sans nourriture, pendant 160 jours (1).

La manière d'être des animaux hibernants, l'accumulation périodique de la graisse chez d'autres espèces animales, la disparition totale de cette graisse à certaines époques de la vie, enfin beaucoup d'autres phénomènes démontrent que l'oxygène, dans la respira-

(1) MARTELL, dans les *Transact. of the Linnean Soc.*, vol. XI, p. 411.

tion, ne fait aucun choix quant aux matières susceptibles de se combiner avec lui. Cet élément se combine donc avec tout ce qui lui est offert, et l'on peut dire, dans le cas où l'exhalation de l'acide carbonique est comparativement plus forte que celle de la vapeur d'eau, que cela provient d'un manque d'hydrogène, puisque, en général, à la température habituelle du corps, l'affinité de l'hydrogène pour l'oxygène surpasse de beaucoup l'affinité du charbon pour ce dernier élément.

L'expérience prouve, en effet, que les herbivores exhalent un volume d'acide carbonique égal au volume de l'oxygène absorbé, tandis que, chez les carnivores, la seule classe animale qui mange de la graisse, il s'absorbe plus d'oxygène qu'il n'en correspond à l'acide carbonique exhalé, et, même dans beaucoup de cas, on a constaté chez ces derniers une exhalation d'acide carbonique égale seulement à la moitié du volume de l'oxygène. Ces observations sont sans réplique; elles sont bien plus concluantes que tous ces phénomènes provoqués artificiellement, auxquels on a donné le nom d'expériences, et qui perdent toute leur valeur en présence des observations puisées dans la nature même.

Dans les individus qui endurent la faim, non-seulement la graisse disparaît peu à peu, mais toutes les matières solides finissent aussi par se dissoudre graduellement. Voyez les cadavres de ceux qui meurent d'inanition : ils sont amaigris, leurs muscles sont minces, rigides et privés de contractilité; tous les organes moteurs ont servi à préserver les autres tissus de l'action de l'atmosphère; finalement les principes

du cerveau eux-mêmes ont pris part à cette oxygénation ; de là la défaillance, le délire, et comme conséquence dernière, la mort, c'est-à-dire la cessation de toute résistance à l'oxygène atmosphérique, l'invasion des actions chimiques, de la pourriture, de la combustion de toutes les parties du corps.

La mort suit l'inanition plus ou moins promptement, selon l'état d'obésité de l'individu, selon son état de mouvement ou d'agitation, et selon la température de l'air ; enfin elle dépend aussi de la présence ou de l'absence de l'eau, car, puisqu'il transpire continuellement de l'eau par la peau et les poumons, et que ce liquide est l'intermédiaire de tous les mouvements du corps, il est clair qu'en venant à manquer, il doit accélérer la mort. Ainsi on a eu des exemples où, par suite de l'usage non interrompu de l'eau, la mort n'a eu lieu qu'au bout de vingt jours, et dans un cas, même seulement après deux mois.

C'est encore l'action de l'atmosphère qu'il faut considérer comme la cause de la mort dans les maladies chroniques. Lorsque les substances destinées à l'entretien du travail respiratoire sont épuisées, lorsque les organes du malade refusent de fonctionner et perdent par conséquent la faculté de mettre les aliments dans l'état qui convient à leur combinaison avec l'oxygène, alors ces organes eux-mêmes sont sacrifiés et l'oxygène se porte sur la substance des muscles, sur la graisse, et finalement sur la substance des nerfs et du cerveau. La véritable cause de la mort est, dans ce cas, la respiration elle-même, l'action de l'atmosphère. Le manque d'aliments, l'impuissance où se trouve le malade de les assimiler, devient un défaut de résistance ;

c'est donc la cause négative de la cessation des fonctions vitales. La lampe s'éteint, toute l'huile étant consumée par l'oxygène de l'air.

Dans certaines maladies, il se produit des substances impropres à l'assimilation; par l'effet de l'abstinence ces substances sont éloignées du corps, sans laisser aucune trace, leurs éléments entrant en combinaison avec l'oxygène de l'air. Dès que les fonctions de la peau et du poumon éprouvent une perturbation, on observe dans les urines la présence de substances plus carbonées qui leur communique ordinairement une couleur brune.

La respiration est comme le contre-poids ou, si l'on veut, comme le ressort qui entretient le mouvement dans une horloge; les mouvements respiratoires représentent les oscillations du pendule par lesquelles sa marche est réglée. Nous savons prévoir avec une exactitude rigoureuse les changements provoqués dans le jeu de l'horloge par l'allongement du pendule ou par les variations de la température; mais peu de gens connaissent, dans toute son étendue, l'influence que l'air et la température exercent sur la santé de l'homme, et cependant la recherche de ces conditions n'est pas plus difficile, ce me semble, que ne l'est celle des lois qui régularisent le mouvement d'une horloge.

DIX-NEUVIÈME LETTRE.

Aliments. — Parties constituantes du sang : fibrine, albumine, substances minérales. — Identité de composition de la fibrine et de l'albumine. — Rapports entre l'économie animale et l'organisation végétale.

J'ai essayé, dans ma dernière lettre, de vous donner quelques explications sur les fonctions si simples et pourtant si admirables, remplies par l'oxygène de l'atmosphère, quand il se combine avec le carbone contenu dans les organes des animaux. Permettez-moi, aujourd'hui, d'y ajouter quelques remarques sur les matières destinées à maintenir l'harmonie de ces fonctions, c'est-à-dire sur les aliments.

Si l'on établit en principe que l'accroissement du corps, le développement de ses organes, la reproduction de l'espèce se font par les éléments du sang, il est évident qu'on ne pourra donner le nom d'*aliments* qu'aux corps susceptibles de se sanguifier. Pour savoir quelles sont les matières capables de se transformer en sang, il faut donc examiner la composition des aliments et la comparer avec celle de ce liquide. Deux matières sont à considérer comme les parties essentielles du sang ; l'une, la *fibrine,* s'en sépare dès qu'il est soustrait à la circulation ; tout le monde, en effet, sait que le sang se partage alors

en un liquide jaunâtre, qui est le sérum, et en un amas de filaments mous et élastiques qui s'attachent à la verge ou au bâton, quand on agite ou qu'on fouette le sang à mesure qu'il sort des vaisseaux. Un autre principe chimique est contenu dans le sérum ; c'est *l'albumine,* identique à l'albumine des œufs, et communiquant au sang les propriétés du blanc d'œuf. Il se coagule par la chaleur, en donnant une masse blanche et élastique.

La fibrine et l'albumine, ces principes essentiels du sang, renferment en tout sept éléments chimiques, parmi lesquels on remarque l'azote, le phosphore et le soufre, ainsi que la substance des os. On trouve, en dissolution dans le sérum, du sel marin et d'autres sels à base de potasse et de soude, formés par l'acide sulfurique, l'acide carbonique et l'acide phosphorique. Les globules sanguins contiennent de la fibrine et de l'albumine, ainsi qu'une matière colorante rouge dans laquelle il entre toujours du fer comme partie constituante. Enfin, outre ces corps, le sang renferme encore quelques corps gras, en petite quantité, et qui diffèrent des graisses ordinaires par plusieurs propriétés.

L'analyse chimique a conduit à ce résultat remarquable, que l'albumine et la fibrine renferment les mêmes éléments organiques, unis entre eux dans les mêmes proportions de poids, de telle sorte qu'en faisant, par exemple deux analyses, l'une de fibrine et l'autre de l'albumine, on n'obtiendrait, pour la composition centésimale de ce corps, pas plus de différence que pour deux analyses faites sur une même fibrine et sur une même albumine. La différence de leurs propriétés

prouve que les éléments sont diversement groupés dans ces deux principes, mais ils sont identiques dans leur composition. Ce fait a été confirmé d'une manière diverse, par un savant physiologiste, M. Pierre Denis, qui est parvenu à transformer artificiellement la fibrine et l'albumine, c'est-à-dire à communiquer à la première les caractères de solubilité et de coagulabilité qui distinguent le blanc d'œuf. Outre l'identité de composition, ces deux principes partagent encore cette propriété chimique, qu'ils se dissolvent tous deux dans l'acide hydrochlorique avec une couleur bleu d'indigo foncé, et donnent ainsi un liquide qui se comporte de la même manière avec tous les réactifs. Dans le travail vital, l'albumine et la fibrine du sang peuvent, l'une et l'autre devenir fibre musculaire, et réciproquement la substance des muscles peut se transformer de nouveau en sang. Les physiologistes sont depuis longtemps d'accord sur ce point, mais il appartenait à la chimie de démontrer que ces métamorphoses s'effectuent, pour l'un et l'autre corps, sans l'intervention d'aucun élément étranger, c'est-à-dire sans que rien s'ajoute à eux-mêmes ni en soit éliminé.

Comparons maintenant la composition des divers tissus animaux avec celle de l'albumine et de la fibrine. Toutes les parties du corps qui possèdent une forme définie, qui appartiennent par conséquent à des organes, renferment de l'azote. Aucune partie d'organe douée de mouvement et de vie n'est privée de cet élément ; toutes contiennent, en outre, du carbone et les éléments de l'eau, ces derniers toutefois n'y sont jamais dans les proportions de l'eau. Les principes essentiels du sang renferment sensiblement 16 pour 100 d'azote ;

cette même quantité se retrouve dans toutes les parties des organes. Les expériences les plus concluantes ont démontré que l'économie animale est incapable de créer aucun élément chimique ; elle ne peut produire ni charbon ni azote avec des substances où manquent ces éléments. Il est donc évident que toutes les substances alimentaires destinées à la sanguification ou à la formation des tissus, des membranes, de la peau, des poils, des muscles, que tous les aliments, disons-nous, doivent renfermer une certaine proportion d'azote, cet élément entrant dans la composition des organes ; et cela doit être non-seulement parce que les organes ne peuvent pas créer de l'azote avec d'autres éléments, mais encore parce que l'azote de l'atmosphère ne trouve pas d'emploi dans le travail vital. Le cerveau et les nerfs renferment une grande quantité d'albumine, ainsi que deux acides gras particuliers, renfermant du phosphore (peut-être de l'acide phosphorique). Un de ces acides gras renferme de l'azote. Enfin, l'eau et la graisse constituent les principes non azotés de l'économie animale. Toutes deux sont dépourvues de forme, et ne prennent part au travail vital qu'autant qu'elles servent d'intermédiaires entre les diverses fonctions. Quant aux principes minéraux renfermés dans l'organisme animal, ils sont représentés par la chaux, le fer, la magnésie, le sel marin et les alcalis.

Les carnivores sont, de tous les animaux, ceux qui, dans la nutrition, suivent la marche la plus simple. Ils vivent du sang et de la chair des herbivores et des granivores : or, ce sang et cette chair sont identiques, dans toutes leurs propriétés, au sang et à la chair des carnivores eux-mêmes ; il n'y a, à cet égard, aucune différence

chimique ni physiologique. Les aliments des carnivores dérivent donc du sang ; ces aliments se liquéfient dans l'estomac et peuvent alors être transportés dans d'autres parties du corps ; ils redeviennent du sang, et celui-ci, par suite des métamorphoses continuelles qu'il éprouve, répare toutes les pertes éprouvées par l'économie. Sauf les ongles, les poils, les plumes et la substance des os, aucune partie des aliments des carnivores ne résiste à l'assimilation. Chimiquement parlant, on peut donc dire que le carnivore se consomme lui-même pour entretenir ses fonctions vitales ; mais, précisément, ce qui lui sert de nourriture est identique aux parties que les organes ont à réparer.

La nutrition des herbivores se présente, en apparence, tout autrement ; leurs appareils digestifs sont moins simples, et leurs aliments consistent en matières végétales qui ne renferment proportionnellement que peu d'azote. Quels sont alors, peut-on demander, les matières d'où se forme le sang des herbivores, quelles sont les substances d'où se développent leurs organes ? Cette question peut être résolue d'une manière fort précise. En effet, il résulte des recherches chimiques, que toutes les parties végétales servant de nourriture aux animaux renferment certains principes fort azotés, et l'expérience journalière démontre que les animaux exigent, pour leur entretien, d'autant moins de ces parties végétales, qu'elles sont plus riches en principes azotés ; lorsque l'azote y manque, les parties végétales ne les nourrissent pas. Ces principes azotés se rencontrent surtout en abondance dans la graine des céréales, dans les pois, les lentilles, les fèves, dans certaines racines et dans le suc de nos légumes ; du reste, ils ne man-

quent complétement dans aucune plante, ni dans aucune de ses parties. Ils peuvent, en général, se réduire à trois corps, aisés à distinguer par leurs caractères; deux d'entre eux sont solubles dans l'eau, le troisième ne s'y dissout pas.

Lorsqu'on abandonne à lui-même un suc végétal récemment exprimé, il s'y dépose, au bout de quelques minutes, un précipité gélatineux, ordinairement de couleur verte, et qui, traité par certains liquides destinés à lui enlever sa matière colorante, laisse enfin une matière d'un blanc grisâtre. C'est là un des aliments azotés des herbivores ; il a reçu le nom de *fibrine végétale*. Le suc des graminées surtout est chargé de ce principe; il se rencontre en abondance dans la graine du blé, et en général de toutes les céréales. Quelques opérations fort simples suffisent pour l'extraire de la farine de froment, dans un état de pureté assez grande. Ainsi obtenu, il porte le nom de *gluten;* mais il est à remarquer que la viscosité qui le caractérise, ne lui est pas inhérente, mais provient du mélange d'une matière gluante qui manque dans la graine des autres céréales. La fibrine végétale, comme l'indique déjà le procédé de son extraction, est insoluble dans l'eau; cependant elle est d'abord en dissolution dans le suc de la plante vivante, et ne s'en sépare que plus tard, comme c'est le cas de la fibrine du sang.

L'autre élément azoté se trouve également en dissolution dans le suc des plantes, mais il ne s'en sépare pas à la température ordinaire, et seulement lorsque le suc est porté à l'ébullition. Ainsi lorsqu'on fait bouillir, après l'avoir clarifié, le suc d'un légume, par exemple des choux-fleurs, des asperges, des navets ou des raves,

il s'y produit un coagulum impossible à distinguer, ni par les caractères extérieurs, ni par les autres propriétés, du corps qui se sépare à l'état de coagulum par l'ébullition du sérum de sang ou du blanc d'œuf étendu d'eau. C'est donc l'*albumine végétale ;* elle se rencontre surtout en grande quantité dans certaines semences, dans les noix, les amandes et dans d'autres qui, au lieu de contenir de la fécule comme la graine des céréales, renferment, en place, de l'huile ou des matières grasses.

Enfin, le troisième aliment azoté élaboré par les plantes constitue la *caséine végétale.* Elle se rencontre particulièrement dans le péricarpe des pois, des fèves et des lentilles; soluble dans l'eau, comme l'albumine végétale, elle s'en distingue en ce que sa dissolution n'est point coagulée par la chaleur. Pendant l'évaporation, cette dissolution se couvre d'une pellicule; de même elle se coagule, comme le lait des animaux, par l'addition des acides.

Ces trois principes, la fibrine, l'albumine et la caséine végétales, sont les véritables aliments azotés des herbivores. Souvent les plantes renferment encore d'autres substances azotées, quelquefois vénéneuses ou médicamenteuses, mais elles sont mélangées aux aliments en proportion si faible qu'elles ne sauraient contribuer au développement du corps.

Il résulte de l'analyse chimique de ces principes, qu'ils renferment tous les trois les mêmes éléments, unis dans les mêmes proportions, et, ce qui est encore plus remarquable, qu'ils ont identiquement la même composition que les principes essentiels du sang, la fibrine et l'albumine. Tous les trois se dissolvent, comme

ceux-ci, dans l'acide hydrochlorique concentré avec une couleur bleu d'indigo, et même la fibrine et l'albumine végétales partagent toutes les propriétés physiques de la fibrine et de l'albumine animales; non-seulement cette identité de composition se présente pour les éléments organiques qui constituent ces principes, mais elle s'étend aussi jusqu'aux proportions de phosphore, de soufre, de substance calcaire et d'alcalis.

On est vraiment surpris, en réfléchissant à cela, de voir l'admirable simplicité avec laquelle procède le développement de l'organisme animal. Les substances végétales que les animaux emploient à produire du sang renferment, tout formés, les principes essentiels de ce liquide; outre cela, les plantes contiennent toutes une certaine quantité de fer qu'on retrouve dans la partie colorante du sang.

Quelle que soit leur origine, qu'elles viennent des plantes ou des animaux, la fibrine et l'albumine offrent à peine quelque différence de forme. Lorsque ces substances manquent dans les aliments, la nutrition ne peut s'accomplir chez l'animal; lorsqu'au contraire elles s'y trouvent, l'herbivore, en les consommant, reçoit les mêmes matières que celles que le carnivore exige pour son entretien. L'économie végétale élabore donc le sang de tous les animaux; car, à proprement parler, la chair et le sang des herbivores, consommés par les carnivores, ne sont autre chose que les substances végétales dont les premiers s'étaient nourris. En effet, la fibrine et l'albumine végétales prennent dans l'estomac de l'herbivore absolument la même forme que reçoivent dans l'estomac du carnivore la fibrine et l'albumine animales.

Disons par conséquent, pour nous résumer, que le développement de l'organisme, l'accroissement de l'animal est assujetti à la préhension de certaines substances identiques aux principes essentiels de son sang. L'économie animale ne crée le sang que sous le rapport de la forme, elle n'en saurait produire avec des corps qui n'en contiendraient pas déjà les principes constitutifs; cependant elle n'est pas pour cela privée de la faculté de produire d'autres combinaisons; bien au contraire, elle détermine la formation d'une grande série de corps différents par leur composition des principes du sang, mais c'est précisément le point de départ de cette série, les principes du sang eux-mêmes que la végétation seule engendre.

L'organisme animal peut être considéré comme une plante supérieure qui se développe aux dépens des matières avec la production desquelles s'éteint la vie dans une plante ordinaire; dès que celle-ci a porté des graines, elle meurt, ou du moins elle achève une des périodes de sa vie. Il n'existe aucune lacune, aucune interruption dans cette série infinie qui commence par les principes nutritifs des plantes, c'est-à-dire par l'eau, l'acide carbonique et l'ammoniaque, pour s'élever jusqu'aux principes les plus complexes du cerveau. Le dernier produit de l'activité créatrice des plantes constitue la première substance alimentaire du règne animal. Quant à la substance des cellules, des membranes, des nerfs et du cerveau, les plantes ne les produisent pas. Celui qui s'étonnerait de voir les végétaux créer les principes du sang, n'aurait qu'à se rappeler que la graisse de bœuf ou de mouton se rencontre toute formée dans les semences de cacao, que la graisse hu-

maine se retrouve dans l'huile d'olive, que le beurre de vache est identique au beurre de palme, que toutes les graines oléagineuses enfin renferment de la graisse humaine et de l'huile de poisson.

VINGTIÈME LETTRE.

Accroissement de l'organisme des animaux. — Rôle du beurre et du lait. — Mutations des tissus. — Aliments des carnivores. — Nourriture du cheval.

Ma dernière lettre vous a donné, je l'espère, des renseignements satisfaisants sur la manière dont les organes des animaux s'accroissent. Il me reste maintenant à vous communiquer quelques détails sur le rôle des substances non azotées, du sucre, de la fécule, de la gomme, de la pectine, etc., dans l'économie animale.

La classe animale la plus nombreuse, celle des herbivores, ne peut pas vivre sans ces substances, et si ces animaux n'en trouvent pas une certaine quantité dans leurs aliments, leurs fonctions vitales s'arrêtent promptement; cela doit aussi se dire des carnivores, considérés dans la première période de leur existence, car alors leur nourriture contient toujours certains principes dont l'organisme n'a plus besoin pour sa conservation, une fois qu'il s'est complétement développé.

Dans le jeune âge, les carnivores se nourrissent évidemment de la même manière que les herbivores, leur accroissement est soumis à la préhension d'un liquide particulier, le *lait*, qui est sécrété dans le corps de la mère. Le lait ne renferme qu'un seul principe azoté, c'est le caséum ou *caséine ;* outre cela, il contient principalement une matière grasse, le *beurre*, et une matière saccharine, le sucre de lait, ou *lactine*.

Le principe azoté du lait constitue nécessairement la matière première d'où se forment le sang du jeune animal, ses muscles, son tissu cellulaire, ses nerfs et ses os, car ni le beurre ni le sucre de lait ne renferment d'azote.

L'analyse chimique a conduit à ce résultat remarquable qui ne doit, du reste, plus nous surprendre, d'après ce que nous avons vu précédemment, que la composition de la caséine est identique à la composition de la fibrine et de l'albumine, les deux principes essentiels du sang ; elle a démontré aussi que les propriétés de cette caséine sont absolument les mêmes que celles de la caséine des plantes. On peut donc dire que certaines plantes, comme les pois, les fèves, les lentilles, engendrent le même corps qui naît du sang de la mère et d'où se forme le sang du jeune animal.

La caséine se distingue surtout de la fibrine et de l'albumine par sa grande solubilité et par son incoagulabilité sous l'influence de la chaleur. En recevant de la caséine, le jeune individu ne reçoit, à proprement parler, que le sang de sa mère ; lorsque la caséine se transforme en sang, cela s'effectue sans l'intervention d'un troisième corps, et, réciproquement, il ne se sépare rien des principes du sang de la mère, lorsque ce sang se convertit en caséine. La caséine du lait renferme, en combinaison chimique, bien plus de substance osseuse que le sang lui-même, et cette substance osseuse s'y trouve dans un état de solution extrême, de sorte qu'elle peut aisément être transportée dans toutes les parties du corps. Ainsi, par le lait, le jeune animal reçoit à la fois tous les principes organiques et tous les principes minéraux nécessaires à la formation du sang et des os.

Mais quelles sont alors les fonctions de la matière grasse du beurre, et celles du sucre de lait? Pourquoi ces substances sont-elles indispensables à l'économie animale?

Le beurre ni le sucre de lait ne renferment des bases fixes, il ne s'y trouve ni chaux, ni soude, ni potasse. Le sucre de lait possède une composition entièrement semblable à celle des sucres ordinaires, de la gomme, de la pectine; ces substances renferment du carbone, plus les éléments de l'eau, et ces derniers exactement dans les proportions de l'eau.

Les matières non azotées dont nous parlons, viennent donc ajouter aux substances azotées qui donnent naissance au sang, une certaine quantité de carbone, ou de carbone et d'hydrogène, c'est-à-dire un excédant d'éléments qui ne peuvent pas s'employer à former du sang, attendu que les aliments azotés renferment déjà les proportions de carbone nécessaires à la production de la fibrine ou de l'albumine.

Il est évident que, dans un carnivore adulte qui n'augmente ni ne diminue de poids, l'assimilation des aliments, la mutation des tissus et la consommation de l'oxygène doivent être entre elles dans un rapport défini. Le carbone de l'acide carbonique exhalé, le carbone de l'urine, l'azote de l'urine et l'hydrogène rejeté à l'état d'eau et d'ammoniaque, tous ces éléments pris ensemble doivent peser autant que le carbone, l'azote et l'hydrogène des tissus métamorphosés, et ces tissus, ayant été exactement remplacés par les aliments, doivent à leur tour peser autant que le carbone, l'azote et l'hydrogène des substances alimentaires. Dans le cas contraire, le poids de l'animal ne pourrait pas demeurer constant.

Mais, d'un autre côté, on sait que le poids du jeune carnivore, dont les organes ne sont pas encore complétement développés, ne restent pas stationnaires comme le corps de l'animal adulte, et qu'il augmente au contraire de jour en jour. Cela permet donc de supposer que chez lui le travail de l'assimilation est plus intense que la métamorphose des tissus déjà formés; car si ces deux fonctions étaient d'une intensité égale, l'animal ne pourrait pas augmenter de poids; s'il perdait plus qu'il n'assimile, son poids devrait même diminuer.

Le jeune animal trouve dans le lait les principes nécessaires à la production du sang; c'est le caséum qui les lui fournit. La mutation des tissus déjà formés s'opère chez lui comme chez les adultes, car il sécrète de la bile et de l'urine; les éléments des tissus métamorphosés sont évacués sous forme d'urine, d'acide carbonique et d'eau; mais le beurre et le sucre de lait qu'il consomme disparaissent également, on ne peut les retrouver dans les fèces. Le beurre et le sucre sont rejetés à l'état d'eau et d'acide carbonique, et leur transformation en combinaisons oxygénées prouve que l'animal absorbe bien plus d'oxygène qu'il n'en faudrait pour former de l'eau et de l'acide carbonique avec l'hydrogène et le carbone des tissus métamorphosés. En résumé, les métamorphoses qui s'accomplissent dans le jeune animal fournissent, dans un temps donné, bien moins de carbone et d'hydrogène sous une forme convenable à la respiration qu'il n'en correspond à la quantité de l'oxygène absorbé; si cet oxygène et ce carbone n'étaient offerts par une autre source, les organes finiraient eux-mêmes par succomber à l'action de l'oxygène. L'accroissement progressif de l'animal, le développement complet de ses organes exige donc

la présence de certaines matières dont le rôle nourricier ne consiste qu'à préserver de l'action de l'oxygène les organes qui doivent se former, en se combinant elles-mêmes avec cet oxygène. On conçoit maintenant le but que la nature s'est proposé en ajoutant des matières exemptes d'azote à la nourriture des jeunes mammifères. Ces matières, qui ne servent pas à la sanguification, à la nutrition proprement dite, ne sont donc plus nécessaires à l'animal une fois développé.

On voit, d'après ce qui précède, que la nutrition des carnivores se présente sous deux formes particulières. L'une de ces formes s'observe aussi dans les herbivores et les granivores. En effet, ces animaux prennent constamment dans leur nourriture des matières qui ont une composition égale, ou du moins semblable au sucre de lait ; leurs aliments renferment toujours ou de l'*amidon*, ou de la *gomme* ou du *sucre*. Le rôle rempli par ces derniers dans la nutrition des herbivores se conçoit facilement, si l'on considère la faible quantité de carbone consommé par ces animaux dans leurs aliments azotés, et qui n'est dans aucun rapport avec l'énorme masse d'oxygène absorbé par l'économie. Prenons, pour fixer les idées, un exemple numérique. Un cheval se conserve dans un état de parfaite santé si on lui donne par jour 7 kilog. $^1/_2$ de foin, 2 kilog. $^1/_4$ d'avoine. Les expériences analytiques fixent l'azote du foin à 1,5 et celui de l'avoine à 2,2 pour 100. Concevons tout l'azote des aliments transformé en sang, c'est-à-dire en fibrine et en albumine ; cela fait, en admettant 80 p. 100 d'eau pour le sang, 4 kilog. de sang que le cheval produira par jour, et, dans cette quantité, il n'y a que 140 gram. d'azote. Le poids du car-

bone ingéré en même temps que cet azote ne s'élève qu'à 448 grammes.

On comprend, sans autre calcul, que le volume de l'air inspiré et de l'air exhalé dans l'acte respiratoire doit être plus considérable chez le cheval que chez l'homme ; le cheval doit conséquemment consommer plus d'oxygène et rejeter plus de carbone que l'homme. En effet, un homme adulte consomme par jour environ 444 gram. de carbone, tandis que, suivant les expériences de M. Boussingault, un cheval en exhale, dans le même temps, sensiblement, 2450 grammes. Ce nombre est certainement bien rapproché de la vérité. Les principes azotés des aliments ne fournissent donc au cheval qu'un peu plus du cinquième du carbone nécessaire à l'entretien de la respiration. Mais la sagesse du Créateur a ajouté à tous les aliments les autres quatre-cinquièmes sous les formes les plus variées ; elle a suppléé à l'insuffisance du carbone renfermé dans les aliments azotés, en créant le sucre, la fécule et beaucoup d'autres principes alimentaires exempts d'azote.

Chez les herbivores, dont les aliments renferment une proportion bien faible de principes sanguifiables, la métamorphose des tissus, c'est-à-dire leur renouvellement, leur reproduction, est nécessairement moins rapide que chez les carnivores ; car, si cette fonction s'accomplissait dans la première classe avec autant d'énergie, il est certain que la végétation la plus riche ne pourrait suffire à leur nutrition ; aussi le sucre, la gomme, l'amidon ne seraient plus nécessaires à l'entretien de leurs fonctions vitales, parce qu'alors les produits carbonés de la mutation des organes serviraient eux-mêmes à la respiration.

VINGT-UNIÈME LETTRE.

Application à l'homme des principes énoncés dans les lettres précédentes. — Classification des aliments de l'homme. — Emploi de la gélatine.

Permettez-moi, aujourd'hui, d'appliquer à notre propre espèce les principes qui ont fait le sujet de mes deux lettres précédentes.

L'homme carnivore exige pour son entretien un terrain immense, bien plus étendu, plus vaste que celui qu'il faut au lion ou au tigre, parce que l'homme tue, lorsque l'occasion s'en présente, sans en profiter, sans consommer sa victime.

Une nation de chasseurs, confinée dans un espace étroit, est incapable de se multiplier, car elle emprunte aux animaux le charbon nécessaire à la respiration, et ceux-ci ne peuvent vivre en petit nombre dans le même terrain. Les animaux puisent dans les plantes les principes de leur sang et de leurs organes; les Indiens chasseurs ne consomment que ces principes sans prendre en même temps les substances non azotées qui avaient entretenu la respiration pendant la vie des animaux. Chez l'homme carnivore, c'est donc le charbon de la chair, qui doit remplacer le carbone de l'amidon et du sucre. 7 kilog. 1/2 de chair ne renferment pas

plus de carbone que 2 kilog. d'amidon. Ainsi tandis que le sauvage, en consommant un seul animal et un poids égal de fécule, pourrait vivre en bonne santé pendant plusieurs jours, il lui faudrait, en ne prenant que de la nourriture animale, consommer cinq animaux, pour se procurer le carbone indispensable à la respiration.

Il est aisé de voir quelle liaison intime l'agriculture présente avec l'accroissement de la race humaine. En effet, l'agriculture n'a d'autre but que de produire, dans le plus petit espace possible, un maximum de substances assimilables. Les légumes et les céréales nous fournissent non-seulement l'amidon, le sucre et la gomme, c'est-à-dire le charbon qui préserve l'organisme de l'action de l'atmosphère et produit ainsi la chaleur indispensable à la vie; mais en outre, ces végétaux nous offrent la fibrine, l'albumine et la caséine, substances d'où dérivent le sang, et conséquemment toutes les parties de notre corps. L'homme carnivore respire comme l'animal carnivore, aux dépens des matières produites par la mutation de ses organes. De la même manière que dans les cages de nos ménageries, le lion, le tigre, l'hyène se meuvent continuellement pour accélérer les métamorphoses de leurs tissus, les Indiens sauvages sont obligés, par la même raison, de se soumettre à toute espèce de fatigues; ils usent donc leurs forces uniquement pour produire de la substance pouvant servir à la respiration.

La civilisation est l'art d'économiser la force. La science nous enseigne différents moyens de produire avec le moins de force les plus grands effets, elle nous nous apprend pareillement à utiliser les moyens pour

en tirer un maximum de force. Ce qui caractérise l'état sauvage, le manque de civilisation, c'est donc l'emploi inutile ou disproportionné de la force, soit dans l'agriculture, dans l'industrie ou dans la science, soit même dans l'économie politique. Il résulte de ce qui précède que les substances alimentaires peuvent se diviser en deux classes ; en *aliments azotés* et en *aliments non azotés ;* la première classe possède seule la propriété de se convertir en sang. Les substances alimentaires propres à la sanguification donnent naissance aux principes des organes ; les autres servent, dans l'état de santé, à l'entretien de l'acte respiratoire, c'est-à-dire à la production de la chaleur animale. Nous désignerons les substances azotées sous le nom d'*aliments plastiques*, et les substances non azotées sous celui d'*aliments respiratoires*. Les aliments plastiques sont :

La fibrine végétale ;
L'albumine végétale ;
La caséine végétale ;
La chair et le sang des animaux.

Les aliments respiratoires comprennent :

La graisse ;
L'amidon ;
La gomme ;
Les sucres ;
La pectine ;
La bassorine ;
La bière ;
Le vin, l'eau-de-vie, etc.

Un fait général démontré par l'expérience, c'est que tous les principes nutritifs et azotés des plantes ont la

même composition que les principes essentiels du sang. Aucun corps azoté dont la composition diffère de celle de la fibrine, de l'albumine et de la caséine n'est propre à entretenir la vie des animaux.

Sans doute l'économie animale possède la faculté de préparer, avec les substances du sang, la substance des membranes et des cellules, des nerfs et du cerveau, les principes organiques des tendons, des cartilages et des os, mais il faut que la substance elle-même du sang, sinon sa forme, soit offerte à l'animal ; dans le cas contraire, la sanguification et conséquemment la vie s'arrêtent.

Cette vérité explique fort bien pourquoi les tissus gélatineux, la gélatine des os et des membranes, sont impropres à la nutrition, à l'entretien des fonctions vitales, car leur composition diffère de celle de la fibrine et de l'albumine du sang ; elles ne renferment pas de soufre. Cela prouve donc aussi que les organes qui préparent le sang ne possèdent pas la faculté de déterminer dans la gélatine une métamorphose moléculaire, de manière à la transformer en albumine ou en fibrine.

L'économie animale ne possède pas la faculté de décomposer la gélatine, de manière à la transformer en fibrine ou en albumine ; car, si elle avait ce pouvoir, on ne comprendrait pas pourquoi on voit, dans le corps des malheureux qui succombent à l'inanition, disparaître toutes les parties susceptibles de se dissoudre, tandis que les cellules, les tendons, les membranes conservent entièrement leur forme et leurs propriétés ; tous les membres du corps conservent la cohérence qu'ils doivent aux tissus capables de se convertir en gélatine.

On sait que la partie calcaire seule est rejetée des

os avalés par les chiens, tandis que la gélatine s'assimile. On remarque la même chose chez les individus qui prennent des bouillons contenant comparativement plus de gélatine que d'autres substances; cette gélatine n'est évacuée ni par les urines ni par les fèces ; il est donc évident qu'elle éprouve dans l'organisme une transformation particulière et qu'elle y remplit un certain rôle. Sans avoir vu soi-même les expériences, on saurait à peine se faire une idée de la grande résistance que la gélatine oppose aux agents les plus puissants. Il est certain d'ailleurs qu'elle est rejetée par l'économie sous une autre forme que celle sous laquelle elle y a été introduite.

Puisque nous admettons sans difficulté que l'albumine du sang se transforme en fibrine, c'est-à-dire qu'une substance soluble et dissoute se convertit en un autre principe organisé comme elle, mais insoluble, et cela en raison même de l'identité de composition de l'albumine et de la fibrine, il est tout aussi rationnel, ce me semble, d'admettre que la gélatine, ingérée dans l'organisme à l'état de dissolution, redevient membrane, cellule ou principe organique des os; qu'elle sert, en un mot, à renouveler les tissus gélatineux ayant éprouvé quelque perte. Comme la reproduction des tissus se modifie dans toute l'économie suivant l'état sanitaire de l'individu, il est évident que la force qui détermine la transformation du sang en membranes et en cellules, doit diminuer dans l'état de maladie, lors même que la sanguification n'est alors point troublée; l'intensité de la force vitale, sa faculté de provoquer des métamorphoses diminue nécessairement chez le malade autant dans son estomac que dans les autres parties de son corps.

La médecine pratique nous apprend en effet que l'ingestion des tissus gélatineux, rendus solubles, exerce une influence bien marquée sur le bien-être du corps; lorsqu'ils lui sont offerts dans un état propre à l'assimilation, ils servent à économiser de la force, et leur action salutaire peut se comparer à celle qu'une nourriture convenablement apprêtée exerce sur l'estomac.

La fragilité des os qu'on observe chez les herbivores, résulte évidemment d'une certaine débilité des organes destinés à métamorphoser les principes du sang en substance cellulaire. A en croire certains médecins qui ont habité l'Orient, les femmes turques, par l'usage du riz et par de fréquents lavements de bouillon, se procurent toutes les conditions nécessaires à la production de la substance cellulaire et de la graisse.

VINGT-DEUXIÈME LETTRE.

Rotation de la matière dans le règne végétal et le règne animal.— L'océan.— L'agriculture.— Rétablissement de l'équilibre dans le sol. — Causes de l'épuisement de la terre. — La Virginie, l'Angleterre.— Restitution opérée par les os. — Insuffisance de l'expérience dans l'agronomie, nécessité des principes scientifiques. — Influence de l'atmosphère. — Parties salines et terreuses du sol.

Des mondes entiers de plantes et d'animaux se succèdent dans l'étendue immense et pourtant limitée des mers; chaque génération animale emprunte ses aliments à la végétation, et reprend après la mort les formes primitives qui profitent à une nouvelle génération de plantes.

L'oxygène que les animaux enlèvent, par la respiration, à l'air dissous dans l'eau de la mer (1), lui est restitué par l'acte vital des plantes marines; il se fixe sur les produits de la putréfaction des cadavres, en transforme le carbone en acide carbonique et l'hydrogène en eau, tandis que l'azote prend la forme de l'ammoniaque.

Il y a donc dans la mer une rotation continuelle,

(1) Il renferme de 32 à 33 centièmes d'oxygène en volume, tandis que l'air atmosphérique n'en contient que 21.

bornée aux quantités de substances nutritives qu'elle renferme. Il ne saurait être question, pour les plantes marines, d'une nutrition par l'humus. Comment, en effet, un rocher tout nu et à la surface duquel on n'aperçoit pas la moindre altération, pourrait-il nourrir ce fucus gigantesque qui atteint une hauteur de 360 pieds (Cook), et dont un seul individu entretient, par ses feuilles et ses tiges, la vie de tant de milliers d'animaux? Ces plantes n'ont évidemment besoin que d'un point d'appui qui les empêche de changer de lieu, ou d'un objet qui compense leur faible densité; elles vivent dans un milieu qui leur offre de toutes parts les aliments nécessaires. La mer, en effet, ne renferme pas seulement l'acide carbonique et l'ammoniaque, mais encore les phosphates et les carbonates alcalins nécessaires au développement des plantes marines. Ces sels se retrouvent dans les cendres de toutes ces plantes.

Toutes les expériences démontrent que les conditions qui assurent l'existence et l'accroissement des plantes marines sont les mêmes que pour les plantes terrestres. Mais celles-ci ne vivent pas, comme les premières, dans un seul milieu qui renferme tous leurs éléments et entoure tous leurs organes; les plantes terrestres sont sous la dépendance de deux milieux, l'*atmosphère* et le *sol* qui contient les éléments manquant à l'atmosphère.

On ne conçoit vraiment pas qu'on ait pu nier si longtemps la part que les éléments du sol prennent à la prospérité des végétaux, et qu'on ait pu considérer comme accessoires les substances minérales renfermées dans les plantes. Les mêmes alternatives continuelles d'équilibre rompu et d'équilibre rétabli s'observent à la

surface de la terre comme dans la mer. L'expérience prouve que l'accroissement des végétaux est activé lorsqu'on leur ramène certaines substances primitivement contenues dans le sol et absorbées par eux ; en effet, les excréments de l'homme et des animaux dérivent des plantes ; ce sont précisément les matières qui acquièrent de nouveau, dans l'organisation animale ou par la mort des animaux, la forme qu'elles avaient possédée comme principes du sol. On sait que l'atmosphère ne renferme aucune de ces substances, qu'elle ne peut pas les restituer ; on sait aussi qu'en les enlevant du sol, on diminue les récoltes, et on prend aux champs leur fertilité, tandis que l'influence de ces substances en conserve et en accroît même la prospérité.

En présence de tant de preuves qui attestent l'origine constituante des animaux et des plantes, ainsi que l'utilité des alcalis, des phosphates et de la chaux, est-il possible de révoquer encore en doute l'exactitude des principes d'agriculture que nous venons d'exposer? Ces principes ont, en général, pour base le rétablissement d'un état d'équilibre. Une contrée riche et florissante qui exporte pendant quelques siècles les produits du sol, sous forme de bestiaux et de céréales, ne saurait conserver sa fertilité si elle ne reçoit en retour, par son commerce, sous forme d'engrais, les substances prélevées sur ses terres, et que l'atmosphère ne peut leur restituer. Elle tombera tôt ou tard dans le même état que les terres jadis si prospères de la Virginie, où l'on ne peut plus cultiver ni tabac ni céréales.

Dans les grandes villes d'Angleterre, on consomme les produits de l'agriculture du pays et de l'étranger ; mais on n'y rend plus aux terres les principes minéraux

indispensables aux plantes. Certains usages, propres aux mœurs anglaises, s'opposent à ce qu'on y recueille cette immense quantité de phosphates qui sont journellement versés dans les rivières par les urines et les excréments solides; et cependant ces phosphates, renfermés dans le sol en si faible dose, sont peut-être les substances minérales les plus importantes. On a vu, en effet, les terres de certaines contrées de l'Angleterre doubler leurs récoltes, comme par enchantement, lorsqu'on y répandit le phosphate de chaux des os importés du continent. Cette importation se fait nécessairement au détriment des pays de l'Allemagne surtout, qui fournissent les os, car elle doit peu à peu épuiser leurs propres terres. Cette perte en phosphates est d'autant plus considérable, qu'une seule livre d'os renferme autant d'acide phosphorique que tout un quintal de blé.

Faute de connaître la véritable nature et les propriétés de la matière, les alchimistes croyaient que les métaux, et en particulier l'or, se développaient d'une espèce de semence. Ils considéraient les cristaux et leurs ramifications comme les feuilles et les branches de la plante métallique, et tous leurs efforts étaient dirigés vers la recherche de la semence et de la terre propre à son développement. A cette époque, on n'avait presque aucune notion de l'atmosphère, on ignorait entièrement le rôle de la terre et de l'air dans l'économie des plantes et des animaux, de sorte qu'on était naturellement porté à adopter l'existence de semences métalliques, puisqu'on croyait voir les graines des plantes produire des tiges, des feuilles, des fleurs et de nouvelles graines, sans le concours d'aucune autre matière. La chimie

moderne est parvenue à isoler les éléments de l'eau; elle recompose à leur aide l'eau avec toutes les propriétés qui la caractérisent; mais elle ne crée pas ces éléments, elle ne les obtient qu'avec l'eau elle-même. L'eau obtenue par synthèse a été d'abord de l'eau. Beaucoup de nos agronomes ressemblent aux anciens alchimistes; car, comme ceux-ci, ils cherchent la pierre philosophale, la semence merveilleuse qui puisse centupler les récoltes, sans que le sol, à peine assez riche pour les plantes qu'ils y cultivent, reçoive d'autres substances nutritives! De véritables principes scientifiques les préserveraient sans doute de ces idées superstitieuses. Dans les premiers temps de la philosophie, on faisait dériver de l'eau tous les êtres organisés, puis de l'eau et de certaines parties de l'air; mais aujourd'hui on sait d'une manière positive que d'autres conditions, offertes par le sol, sont encore nécessaires pour que les plantes acquièrent la faculté de se développer et de se multiplier.

La quantité de substances nutritives contenues dans l'atmosphère n'atteint qu'une certaine limite; toutefois elle doit suffire à la végétation entière du globe terrestre. Sous les tropiques, ainsi que dans les autres contrées qui offrent toutes les conditions de fertilité, savoir : l'humidité, un terroir approprié, la lumière et une température plus élevée, la végétation est à peine limitée par l'espace; là où le sol fait défaut pour que les végétaux s'y fixent, les débris des générations mortes, l'écorce, les tiges des arbres servent de terrain aux générations vivantes. Dans ces contrées, les aliments atmosphériques ne manquent donc pas aux plantes, pas plus qu'à celles de nos climats. Toutes les plantes

reçoivent, par suite des mouvements continuels de l'atmosphère, la même quantité de substances nutritives gazeuses nécessaires à leur développement; l'air n'en renferme pas plus sous les tropiques que dans les zones froides, et cependant le pouvoir productif d'une même étendue de terrain y semble être bien différent.

Mais si l'on compare avec nos plantes cultivées les plantes des tropiques, la canne à sucre, les palmiers chargés d'huile et de cire, on remarque que celles-ci ne renferment qu'une faible proportion des principes nécessaires à la formation du sang dans les animaux. Tout un arpent de tubercules de la pomme de terre, qui atteint au Chili la hauteur d'un arbuste, suffirait à peine pour entretenir pendant un jour la vie d'une famille irlandaise (Darwin). C'est que les plantes qui font l'objet de notre culture servent précisément à la production des substances capables de se transformer en sang. A défaut des éléments que la terre doit fournir pour que celles-ci se développent, il peut se produire du bois, du sucre, de la fécule; mais les principes sanguifiables ne se formeront point. Si l'on cherche, sur une certaine étendue de terrain, à produire plus de substances alimentaires que les plantes n'en engendrent à l'état sauvage, et qu'elles puisent, soit dans l'atmosphère, soit dans le sol, il faut leur offrir une atmosphère artificielle, et ajouter au sol les substances minérales qui y manquent.

La proportion des aliments nécessaires au développement libre et complet des différentes plantes varie extrêmement. Peu de plantes prospèrent dans un sable aride, dans un terrain composé seulement de calcaire, ou sur des roches entièrement nues; ce sont en grande

partie des plantes vivaces, croissant fort lentement, qui n'exigent que de faibles quantités de substances minérales que le sol, stérile pour d'autres espèces, peut leur offrir en toute mesure. Les plantes annuelles, celles qui ne vivent qu'en été, se développent et arrivent à un accroissement complet dans un intervalle bien moins long : aussi ne réussissent-elles pas dans un terrain pauvre en substances nutritives minérales. Les aliments contenus dans l'atmosphère ne leur suffisent pas pour un temps si court ; il faut, pour atteindre le but qu'on se propose en cultivant les plantes annuelles, créer dans le sol une atmosphère artificielle d'acide carbonique et d'ammoniaque, et leur offrir cet excès d'aliments qui manquent aux feuilles, par l'intermédiaire des organes correspondants placés dans le sol. Mais l'ammoniaque et l'acide carbonique ne suffisent pas pour transformer les parties végétales en substances qui nourrissent les animaux ; sans alcalis, il ne se forme point d'albumine ; sans acide phosphorique ou sels terreux, il ne se produit ni fibrine ni caséine végétales. L'acide phosphorique du phosphate de chaux que les plantes ligneuses excrètent en grande quantité, et qu'on trouve dans leur écorce, est indispensable, comme on sait, au développement de la graine des céréales et des légumes.

Les plantes douées d'une verdure persistante, les plantes grasses, les mousses, les fougères, les pins et les sapins se comportent bien autrement. Elles absorbent continuellement par les feuilles, en hiver comme en été, le carbone de l'acide carbonique que le sol aride ne peut leur fournir. Leurs feuilles coriaces ou charnues retiennent l'eau avec beaucoup d'énergie, et n'en

perdent par la transpiration que fort peu comparativement aux autres végétaux. D'un autre côté, la proportion des substances minérales que ces plantes vivaces enlèvent au sol pendant toute l'année, est aussi bien plus faible que celle, par exemple, qu'un même poids de froment absorbe dans l'espace de trois mois.

Lorsque le sol est privé d'humidité, on observe un phénomène qui paraissait inexplicable autrefois, où l'on ne connaissait pas encore le rôle des substances minérales dans la végétation. On voit près du sol les feuilles, qui se sont développées les premières et d'une manière complète, perdre leur vitalité sans qu'aucune cause délétère agisse visiblement sur elles; elles se crispent, jaunissent et tombent. Ce phénomène ne se manifeste pas dans les années humides; de même, on ne l'observe pas dans les végétaux dont la verdure persiste toujours, et il est rare de le voir dans les plantes qui poussent de longues racines; on ne le remarque qu'en automne et en hiver dans les plantes vivaces.

La cause de ce dépérissement est facile à saisir. Les feuilles déjà complétement formées fixent sans cesse l'acide carbonique et l'ammoniaque de l'air, de manière à fournir la substance nécessaire aux nouvelles feuilles, aux bourgeons, aux jeunes pousses; mais cette opération ne saurait avoir lieu sans le concours des alcalis et des autres substances minérales. Lorsque le sol est humide, celles-ci vont constamment à la plante, qui conserve alors sa verdure. Cet approvisionnement vient-il à manquer par l'effet de la sécheresse, il s'effectue un partage dans la plante elle-même. Les parties minérales contenues dans la séve des feuilles déjà développées leur sont alors enlevées pour servir à l'accroissement

des jeunes pousses, et dès que la graine s'est formée, ces feuilles se mortifient entièrement. Les feuilles ainsi fanées ne renferment que des traces de sels solubles, tandis que les bourgeons et les jeunes pousses en sont extrêmement chargés.

On remarque, d'un autre côté, lorsqu'un terrain reçoit un engrais trop abondant et fort riche en parties minérales solubles, que beaucoup de plantes, celles surtout qui servent en cuisine, sécrètent, à la surface des feuilles, des sels qui recouvrent celles-ci d'une croûte blanche et feutrée. Les plantes souffrent par suite de ces exsudations; l'activité organique diminue dans les feuilles; la croissance s'arrête, et la plante finit par périr, si cet état se prolonge. Ce phénomène se présente surtout dans les plantes très-riches en feuilles larges, par lesquelles beaucoup d'eau peut transpirer.

Les navets, les citrouilles et les pois sont ordinairement affectés de cette maladie, lorsque le sol, après une grande sécheresse, et à une époque où la plante n'est pas encore entièrement développée, est trempé par quelques fortes averses suivies d'un temps sec. La transpiration étant alors activée, la plante absorbe par les racines, en même temps que l'eau, plus de sels qu'elle n'en peut employer. Ces sels s'effleurissent à la surface des feuilles, et agissent, dans le cas où elles sont herbacées et pleines de séve, comme si on les avait arrosées avec une solution saline dont la proportion de sel serait plus forte que ne le comporte l'organisme végétal. De deux plantes de la même espèce, celle qui est la plus proche de son développement complet, sera aussi la plus sujette à cette maladie; si l'autre a été

plantée plus tard, ou si elle est plus arriérée dans son développement, les mêmes causes, nuisibles à la première, pourront contribuer au développement de la seconde.

VINGT-TROISIÈME LETTRE.

L'agriculture considérée comme art et comme science. — Nécessité des connaissances chimiques dans l'appréciation des procédés agronomiques.

J'ai essayé, dans une des lettres précédentes, de vous exposer mes opinions sur la différence des aliments et sur le rôle qu'ils ont à remplir dans l'économie. Ma lettre d'aujourd'hui sera consacrée à l'examen d'une question non moins intéressante, je veux parler des moyens à employer pour produire sur une certaine surface de terrain un maximum de substances alimentaires destinées aux animaux et à l'homme.

L'économie agricole est à la fois un art et une science. Elle a pour base scientifique la connaissance des conditions de la vie des végétaux, de l'origine de leurs éléments et des sources de leur alimentation. Cette connaissance conduit à des règles précises pour l'exercice de l'art, à des principes qui enseignent la nécessité ou l'opportunité des opérations mécaniques par lesquelles l'agriculteur favorise le développement des plantes ou les délivre de certaines influences nuisibles. Aucune expérience faite dans l'exercice de cet art ne doit être en contradiction avec les principes scientifiques, car ceux-ci ne sont que le résumé, l'expression

raisonnée de toutes les observations. La théorie ne doit pas non plus se trouver en opposition avec l'expérience, la première ne faisant que ramener une série de phénomènes à leurs causes premières.

Une terre sur laquelle on cultive plusieurs années de suite la même plante, devient stérile pour elle au bout de trois ans, une autre terre ne le devient qu'après sept, une troisième après vingt, une quatrième seulement après cent ans. L'une porte du blé, mais point de haricots; l'autre donne des navets, mais point de tabac; la troisième fournit d'abondantes récoltes de navets, mais point de trèfle, etc. Quelles sont les causes qui privent ainsi une terre de sa fertilité pour une même plante? Par quelle raison une espèce végétale y prospère-t-elle, tandis qu'une autre n'y réussit guère? C'est la science qui pose ces questions. Quels moyens faut-il employer pour conserver à un champ sa fertilité pour une même plante? Comment le rendre fertile pour deux, pour trois, ou pour toutes les plantes cultivées? C'est l'art qui pose ces dernières questions, mais il ne les résout pas lui-même.

Lorsque l'agriculteur, sans se diriger par de véritables principes scientifiques, se livre à des expériences pour rendre ses terres propices à une plante qu'elles ne portent pas autrement, il n'a qu'une faible chance de succès. Des milliers d'agriculteurs font de semblables essais dans tous les sens; ils finissent par avoir un certain nombre d'expériences pratiques qui, réunies, forment une méthode de culture par laquelle, il est vrai, on atteint quelquefois, pour une seule localité, le but proposé; mais cette méthode fait déjà défaut au plus proche voisin, et ne présente aucun avantage pour

d'autres contrées. Quelle quantité prodigieuse de temps et d'argent se perd ainsi, si l'on néglige de suivre la voie si sûre prescrite par la science! Dès qu'on a reconnu la véritable cause du manque de réussite d'une ou de plusieurs plantes dans un terrain, il est aisé d'apprécier les remèdes qu'il faut employer pour les y faire prospérer. Les méthodes de culture varient d'un pays à l'autre suivant la constitution géologique du terrain. Le basalte, le grauwacke, le porphyre, le grès, le calcaire, etc., renferment, en proportions variables, un certain nombre de combinaisons chimiques qui, étant nécessaires au développement des plantes, doivent leur être fournies par le sol : celui-ci varie naturellement aussi dans sa composition autant que les roches elles-mêmes par la désagrégation desquelles il s'est formé.

Le blé, le trèfle, les navets exigent dans le sol certaines substances sans la présence desquelles ils ne prospèrent point. La science enseigne comment on découvre ces substances par l'examen des cendres végétales; lorsque l'analyse d'un terrain y démontre l'absence de ces substances, on apprend par là aussi la cause de la stérilité du terrain, et, en même temps, les conditions à remplir pour y remédier.

La routine attribue tout succès dans l'agriculture aux opérations mécaniques; elle y attache le plus grand prix, sans s'enquérir des causes auxquelles ces opérations doivent leur utilité, causes dont la connaissance permet de régulariser l'emploi des capitaux et des forces d'une manière avantageuse et économique. Certes, personne n'admet que le contact du soc ou de la herse fertilise la terre comme par enchantement; ce qui agit efficacement dans un labour donné avec soin, c'est sans con-

tredit la division extrême de la terre, l'ameublissement du sol ; mais l'opération mécanique n'est qu'un simple moyen pour arriver à ce but.

Lorsqu'on laisse reposer les terres en *jachère*, les principes de l'atmosphère exercent sans cesse une action chimique sur les parties solides du terrain. C'est l'acide carbonique, l'oxygène de l'air, l'humidité, les eaux pluviales, par lesquels certaines parties des roches ou de leurs débris qui constituent la terre labourable, reçoivent la faculté de se dissoudre dans l'eau. Ces parties, une fois dissoutes, se séparent des parties insolubles.

Ces actions chimiques ne se font que peu à peu; il leur faut du temps pour s'accomplir. Elles rendent certaines parties du sol propres à l'assimilation par les plantes, et c'est précisément cet effet qu'on cherche à favoriser au moyen de certaines opérations mécaniques. Celles-ci accélèrent la désagrégation du sol, de manière à offrir à d'autres générations les substances minérales indispensables à leur développement, dans un état qui convient à l'assimilation. Cet effet est naturellement d'autant plus prompt que les matières du sol présentent une plus grande surface aux actions chimiques.

Lorsque le chimiste veut dissoudre un minéral, il procède comme l'agriculteur avec sa terre : il est obligé de s'astreindre à des opérations fort longues et pénibles pour réduire le minéral en poudre fine. Au moyen des lavages, il sépare avec soin les parcelles plus ténues des parties grossières, car il sait qu'autrement le minéral ne se dissoudrait que d'une manière imparfaite.

Les phénomènes de désagrégation opérés par l'atmosphère sur la surface des roches s'observent très-

bien dans les mines d'or de Yaquil, au Chili, décrites par Darwin d'une manière si intéressante. On y pulvérise dans des moulins particuliers, les rocs aurifères, et l'on sépare par des lavages les parties pierreuses plus légères d'avec les parties métalliques. Un courant d'eau emporte les premières, tandis que les parcelles d'or tombent au fond. On dirige les eaux chargées de limon dans des étangs où elles le déposent peu à peu; lorsque ceux-ci sont assez remplis, on en retire le limon pour l'abandonner à lui-même, au contact de l'air et de l'humidité. Après les lavages que la roche a subis, elle ne peut plus contenir de partie soluble ou saline; recouverte d'eau au fond des étangs et à l'abri de l'air, elle n'éprouve pas non plus d'altération. Mais dès qu'elle se trouve exposée simultanément à l'action de l'air et de l'humidité, elle se recouvre d'efflorescences salines très-abondantes, indice certain d'une puissante réaction chimique. Lorsque ce limon s'est durci au bout de deux ou de trois années d'exposition, on réitère sur lui les lavages de manière à obtenir de nouvelles quantités d'or, moindres, il est vrai, et qui ont été mises à nu par l'effet de cette réaction. La même réaction s'opère dans la terre de nos champs, et c'est elle qu'on tend à favoriser par les diverses opérations du labourage. On renouvelle la surface du sol, et l'on cherche à mettre chaque motte de terre en contact avec l'acide carbonique et avec l'oxygène. On crée ainsi une provision de substances minérales solubles qui sont indispensables au développement des nouvelles générations.

VINGT-QUATRIÈME LETTRE.

Effets de la jachère.—Emploi de la chaux.—Effets de l'argile cuite, de la marne.

Ma dernière lettre vous a donné, je l'espère, quelques éclaircissements sur les principes généraux servant de base à l'agriculture; il me reste encore à appeler votre attention sur quelques faits particuliers qui me paraissent de nature à vous démontrer, d'une manière frappante, la connexion intime qui rattache l'agriculture à la chimie, et la nécessité, pour les agriculteurs, de se familiariser avec les principes de cette science.

Toutes les plantes cultivées ont besoin d'alcalis ou de terres alcalines, chacune dans une certaine proportion. Les blés ne prospèrent pas si le sol manque de silice à l'état de dissolution. Les silicates qu'on rencontre dans la nature se distinguent essentiellement par leur plus ou moins grande aptitude à se désagréger, par la différente résistance que leurs parties opposent au pouvoir dissolvant des agents atmosphériques. Le granit de la Corse tombe en poussière quand le granit poli de la Bergstrasse ne perd pas encore son éclat.

Il y a des terrains si riches en silicates aisément désagrégeables que le silicate de potasse, nécessaire aux feuilles et aux tiges de toute une récolte de blé, devient soluble et assimilable dans l'espace d'un ou de

deux ans. Il n'est pas rare de rencontrer en Hongrie des localités où, de mémoire d'homme, on cultive successivement sur les mêmes terres du blé et du tabac, sans rendre au sol les substances minérales enlevées par la paille et les graines. D'un autre côté, il y a aussi des terres où la quantité de silicate de potasse nécessaire à une seule récolte de blé ne devient soluble qu'au bout de deux ou de trois ans, et même d'un temps plus long.

Le mot *jachère*, pris dans son acception la plus large, signifie donc cette période de la culture où l'on abandonne le sol aux influences atmosphériques pour qu'il s'enrichisse de certaines substances solubles. Dans un sens moins étendu, cette expression se rapporte au temps de repos dans la culture des céréales. Pour ces plantes, en effet, l'affluence de la silice soluble et des alcalis est une des principales conditions de leur prospérité. Si, pendant la jachère, on cultive sur le même terrain un autre végétal par la récolte duquel on n'enlève pas de silice au sol, celui-ci conserve nécessairement sa fertilité pour le blé qu'on y cultive après.

Les considérations précédentes prouvent que l'ameublissement du sol, par des opérations mécaniques, offre le moyen le plus simple et le moins coûteux pour rendre assimilables les principes nutritifs contenus dans le sol. Mais cet effet se réalise aussi par d'autres moyens. En Angleterre, on se sert pour cela depuis longtemps de la chaux calcinée ; ce moyen est fort simple et parfaitement conforme au but. Cette efficacité de la chaux s'explique si l'on se rappelle les opérations exécutées par le chimiste pour dissoudre un minéral destiné à l'analyse.

Le feldspath, par exemple, quelque bien pulvérisé qu'il soit, exige des semaines et même des mois entiers pour se dissoudre dans un acide ; mais si on le mélange avec de la chaux et qu'on l'expose au rouge faible, la chaux se combine avec certaines parties du feldspath. Une partie de la potasse contenue dans ce minéral est mise en liberté, et il suffit alors d'y verser un acide pour dissoudre à froid non-seulement la chaux, mais encore les autres parties du feldspath. L'acide se charge si bien de la silice que le tout se prend en une gelée transparente.

La chaux éteinte se comporte d'une manière semblable avec la plupart des silicates alcalins à base d'alumine, lorsqu'elle se trouve pendant quelque temps en contact avec eux. Lorsqu'on agite, par exemple, du lait de chaux avec de l'argile ou de la terre de pipe délayée dans l'eau, le mélange s'épaissit à l'instant même; ce mélange étant ensuite abandonné à lui-même se prend en gelée par l'addition d'un acide. Avant d'avoir été mis en contact avec la chaux, il ne présente cette propriété qu'à un très-faible degré. La chaux en se combinant avec une partie de l'argile, la rend soluble, et, ce qui est encore plus remarquable, met en liberté la plus grande partie des alcalis renfermés dans l'argile. Ces belles observations ont été faites pour la première fois par M. Fuchs de Munich ; non-seulement elles ont contribué à éclaircir la nature et les propriétés des chaux hydrauliques, mais, en expliquant l'action de la chaux caustique sur la terre labourable, elles ont encore fourni à l'agriculture un moyen précieux de rendre solubles les alcalis nécessaires au développement des plantes.

Quand on voit au mois d'octobre les terres dans les comtés d'York et d'Oxford, on les dirait couvertes de neige, tant il y a de chaux éteinte et désagrégée qui, dans les mois humides de l'hiver, exerce une influence heureuse sur l'argile si compacte du terrain.

Dans le sens de l'ancienne théorie sur l'efficacité de l'humus, théorie qui est maintenant abandonnée, il faudrait au contraire admettre que la chaux caustique nuit au sol, en y détruisant les substances organiques et en les rendant impropres à fournir de l'humus à une nouvelle végétation. Mais, comme nous l'avons dit, la chaux augmente la fertilité du sol. Les céréales ont besoin d'alcalis et de silicates solubles qui sont rendus assimilables par la présence de la chaux. Si le sol renferme en outre une substance en pourriture, fournissant à la plante de l'acide carbonique, cette substance favorisera la végétation, mais elle n'y est point indispensable. Si l'on offre au sol l'ammoniaque et les phosphates si nécessaires aux céréales, on remplit toutes les conditions pour avoir une riche récolte, car l'atmosphère est un réservoir d'acide carbonique tout à fait inépuisable.

La fertilité des terrains argileux s'accroît aussi d'une manière fort avantageuse, dans les localités riches en tourbes, par la simple calcination du terrain. En effet, les chimistes ont observé que beaucoup de silicates à base d'alumine qui, à l'état naturel, résistent à l'action des acides, acquièrent une solubilité parfaite, si on les chauffe d'abord à l'incandescence ou si on les fait fondre. A ces silicates appartiennent la terre de pipe, l'argile plastique, la terre glaise, ainsi que les différentes modifications de l'argile contenues dans la terre la-

bourable. A l'état naturel, ces silicates peuvent être portés en ébullition avec de l'acide sulfurique concentré, pendant des heures entières, sans se dissoudre sensiblement; mais légèrement cuites (comme la terre de pipe dans les fabriques d'alun), ces argiles se dissolvent dans l'acide avec la plus grande facilité, et la silice se sépare alors à l'état de gelée.

L'argile plastique ordinaire appartient aux terrains les plus stériles, bien que sa composition offre toutes les conditions nécessaires au développement vigoureux de beaucoup de plantes. Mais la présence de ces principes ne suffit pas pour qu'ils leur soient utiles; il faut que le sol soit rendu accessible à l'air, à l'oxygène, à l'acide carbonique; il faut que les principes qu'il contient, soient dans un état qui en permette l'absorption par les racines. Ces propriétés manquent entièrement à l'argile plastique, mais on les lui communique par une légère calcination.

Les différences considérables qu'on observe entre l'argile cuite et l'argile non soumise à la calcination, sont surtout bien marquées dans les localités où les maisons sont construites en briques. Dans les villes de Flandre, où elles le sont presque toutes, on remarque à la surface des murs, en moins de quelques jours, des efflorescences salines semblables à du feutre. A peine les pluies ont-elles enlevé ces sels, qu'ils reparaissent bientôt après, et cela s'observe même sur de vieux murs âgés de plusieurs siècles, par exemple sur les portes de Lille. Ces efflorescences se composent de carbonate et de sulfate à base d'alcali, sels qui, comme on sait, jouent un rôle fort important dans la végétation. L'influence de la chaux sur elles est fort

remarquable; elles commencent toujours par apparaître aux points de contact du mortier et de la brique.

Toutes les conditions nécessaires à la dissolution des silicates alcalins se trouvent évidemment réunies dans les mélanges d'argile et de chaux. La chaux soluble ans l'eau chargée d'acide carbonique agit sur l'argile comme un lait de chaux; c'est ce qui explique le résultat favorable qu'on obtient en répandant de la marne (on appelle ainsi toutes les argiles riches en chaux) sur la plupart des terrains. Il y a des terrains marneux dont la fertilité surpasse tous les autres, et cela pour toutes les espèces végétales. La marne est encore plus efficace à l'état cuit; la même chose doit se dire des matériaux qui ont une composition semblable, surtout des calcaires destinés à la préparation des chaux hydrauliques. Ceux-ci fournissent au sol non-seulement les bases alcalines, mais encore la silice, dans un état qui convient à l'assimilation.

Dans beaucoup de localités, on emploie, pour amender les terres, les cendres de lignites et de houilles.

Celles qui se prêtent surtout à cet usage ont la propriété de se prendre en gelée avec les acides, ou de durcir au bout de quelque temps, comme la chaux hydraulique, quand on les mélange avec du lait de chaux.

Les opérations mécaniques du labour, la jachère, l'emploi de la chaux et la calcination de l'argile, concourent donc à prouver la vérité d'un seul et même principe scientifique. Ce sont là des moyens propres à accélérer la végétation des silicates à base d'alumine et d'alcali, à offrir certains principes nutritifs indispensables aux nouvelles générations végétales.

VINGT-CINQUIÈME LETTRE.

Nature et effets du fumier. — Décomposition des matières végétales. —Excréments.—Valeur, comme fumier, des excréments des différents animaux.

Après vous avoir exposé mon opinion sur l'amendement du sol par l'ameublissement et par l'addition de substances minérales, il me reste encore à vous dire quelques mots sur l'effet des excréments des animaux, c'est-à-dire des fumiers proprement dits.

Pour se former une idée nette de la valeur et du mode d'action des fumiers, il importe tout d'abord de s'en rappeler l'origine. Tout le monde sait que, dans l'état d'abstinence complète, le corps d'un animal diminue de poids d'une manière continue ; si cet état se prolonge, la diminution de poids devient même visible par l'amaigrissement du corps; la graisse, la chair musculaire disparaissent alors peu à peu. Aussi, chez les individus morts d'inanition, on ne trouve plus que les membranes, les tendons et les os.

Cet amaigrissement d'un animal, d'ailleurs en pleine santé, démontre qu'une partie des substances de l'organisme éprouve, pendant la vie, une certaine transformation; que ces substances quittent l'état de vie, pour

être évacuées, après une transformation plus ou moins complète, par les organes de sécrétion, par la peau, le poumon, la vessie.

L'évacuation de ces parties vivantes est dans une corrélation intime avec le phénomène de la respiration; elle est déterminée par l'absorption de l'oxygène de l'air, lequel oxygène se combine avec certaines parties du corps. A chaque inspiration, le sang reçoit une certaine quantité d'oxygène qui se combine avec ses parties constituantes. Cependant, bien que la quantité de l'oxygène ainsi fixée s'élève jusqu'à 400 ou 450 gram., elle n'augmente pas sensiblement le poids du corps. C'est que tout l'oxygène qui entre dans l'économie par les mouvements d'inspiration, en est de nouveau exhalé sous forme d'acide carbonique et d'eau : chaque mouvement respiratoire diminue le carbone et l'hydrogène contenus dans le corps.

Toutefois, dans l'amaigrissement par la faim, la diminution de poids du corps provient, non-seulement de l'évacuation du carbone et de l'hydrogène, mais encore de celle des autres substances combinées avec ces deux éléments. L'azote des tissus vivants qui éprouvent cette transformation, se rassemble alors dans la vessie. En effet, l'urine renferme une substance fort azotée, l'*urée;* il s'y trouve, en outre, sous forme de sulfates, le soufre des tissus; c'est aussi par l'urine que s'évacuent peu à peu tous les sels solubles du sang et des autres liquides de l'économie, le sel marin, les phosphates, la soude et la potasse.

En résumé, le carbone et l'hydrogène du sang, de la fibre musculaire et de tous les tissus susceptibles de se transformer, s'en retournent à l'atmosphère; l'azote et

toutes les substances inorganiques et solubles reviennent, sous forme d'urine, à la terre.

Nous avons considéré plus haut les transformations qui s'accomplissent continuellement dans l'économie vivante, à l'état de santé. On sait qu'une partie du corps s'évacue alors sous forme solide. Si le poids primitif doit être rétabli, il est évident que le corps a besoin de recevoir des substances d'où puissent se former le sang et les substances évacuées. Cette restitution s'opère par les aliments.

Chez l'homme adulte, dans l'état de santé, le poids du corps n'augmente ni ne diminue sensiblement dans l'espace de 24 heures. Mais, dans le jeune âge, ce poids augmente peu à peu, et, chez les vieillards, il diminue.

Les aliments rendent donc à l'organisme les parties éliminées ; ils restituent à l'animal adulte toute la quantité de carbone, d'azote, d'hydrogène et des autres éléments, rejetés par la peau, le poumon et la vessie. Dans le jeune âge, l'affluence des aliments est plus grande, parce qu'une portion des substances alimentaires reste dans l'organisme ; dans la vieillesse, elle est, au contraire, moindre que l'évacuation, ou, ce qui revient au même, il s'élimine plus de substances qu'il n'en est ingéré.

Il est certain, d'après cela, que l'urine et les excréments solides de l'homme représentent, sauf une certaine quantité d'hydrogène et de carbone expulsés par le poumon, tous les éléments contenus dans les aliments.

Les aliments introduisent de l'azote dans l'organisme de l'adulte, comme de l'enfant et du vieillard, et cet azote est rejeté tous les jours sous forme d'urée. De

même, dans l'urine, se retrouvent tous les alcalis ingérés par les aliments, ainsi que les phosphates et les sulfates solubles. Les excréments solides renferment beaucoup de substances n'ayant éprouvé aucune altération de la part des organes de nutrition, les matières indigestibles, telles que le ligneux, la chlorophylle, la cire, qui sont évacuées, après avoir été plus ou moins modifiées.

La physiologie nous apprend que c'est par l'intermédiaire du sang que s'accomplit la nutrition dans l'animal, la réparation des substances évacuées par lui, ou l'accroissement de la masse. La digestion a pour but de transformer en sang les substances alimentaires, d'absorber toutes les matières sanguifiables; et, comme les matières azotées sont seules aptes à éprouver cette transformation, on peut donc dire qu'elle a pour effet d'extraire continuellement l'azote contenu dans les aliments qui traversent les intestins.

Les excréments solides doivent évidemment être privés d'azote, ou plutôt ils ne peuvent contenir que l'azote contenu dans les sécrétions intestinales, à l'aide desquelles s'effectue l'évacuation des matières excrémentitielles. C'est aussi par les fèces que sont rejetés le phosphate de chaux et le phosphate de magnésie, contenus dans les aliments et non employés par l'organisme ; ce sont là des sels qui ne se dissolvent pas dans l'eau, c'est-à-dire dans l'urine.

Il est aisé de comprendre la nature chimique des excréments solides, si l'on compare, par exemple, les fèces d'un chien avec sa nourriture. Le chien reçoit de la viande et des os; il y a des substances azotées dans la viande comme dans les os; et cependant les excré-

ments, blancs et humides au sortir du corps, se dessèchent, à l'air, en une poudre qui, outre le phosphate calcaire des os, renferme à peine un centième d'une autre substance étrangère.

L'urine et les excréments solides de l'homme et des animaux nous fournissent donc tout l'azote, ainsi que les substances minérales, solubles et insolubles, contenues primitivement dans les aliments ; et comme ces substances tirent leur origine de la terre de nos champs, il est évident que l'urine et les fèces représentent les parties qui ont été enlevées à la terre sous forme de graines, de racines ou de feuilles.

Une partie des récoltes est employée à la nutrition, à l'engraissement des bestiaux que les hommes consomment ; une autre est employée directement sous la forme de farine, de pommes de terre, de légumes ; une troisième se compose de débris végétaux non consommés que l'on utilise comme paille ou comme litière, etc.

Il est évident, d'après cela, que tous les principes minéraux que l'on exporte avec les animaux, les grains ou les autres produits agricoles, peuvent être regagnés par les excréments liquides et solides, par les os et le sang des animaux tués ; il ne dépend donc que de nous de rétablir l'équilibre dans la composition de nos terres, en recueillant avec soin tous ces objets. On peut calculer la quantité de substances minérales qu'on exporte par une brebis, par un bœuf ou par le lait d'une vache, ou par un boisseau d'orge, de froment ou de pommes de terre. De même, la composition des fèces de l'homme indique combien il faut en répandre sur les terres pour en compenser les pertes.

Il est certain qu'on peut se passer des excréments

animaux, si l'on est en état de tirer d'autres sources les substances par lesquelles ces excréments ont précisément de la valeur en agriculture. Il importe peu qu'on offre aux champs de l'ammoniaque sous forme d'urine ou sous celle d'un sel extrait du goudron de houille; qu'on y répande le phosphate de chaux sous forme d'apatite ou sous celle de matière osseuse.

L'essentiel dans l'agriculture, c'est donc de remplacer d'une manière quelconque les substances que l'atmosphère ne peut point fournir. Lorsque cette restitution n'est pas complète, la fertilité des terres diminue; elle gagne, au contraire, lorsqu'on y porte plus qu'on n'en avait enlevé.

L'importation de l'urine ou des excréments solides équivaut à celle du blé ou des bestiaux, car ces substances acquièrent, dans un intervalle qu'on peut calculer d'avance, la forme du blé, de la chair et des os; elles passent dans le corps de l'homme, et sont journellement rejetées sous la forme qu'elles possédaient d'abord.

L'unique perte réelle à laquelle nos mœurs ne peuvent s'opposer, c'est celle du phosphate des os que l'homme emporte dans la tombe. Chaque partie de cette immense quantité de nourriture que l'homme prend dans l'espace de soixante ans, et qui provient de nos terres, peut être gagnée pour y être ramenée. Ce n'est que dans les os ou dans le sang de l'homme jeune, ou de l'animal soumis à l'engrais, qu'il reste une certaine quantité de phosphate de chaux ou de phosphate alcalin; sauf cette dernière quantité, très-faible comparativement à celle qui se consomme tous les jours, tous les sels alcalins, tous les phosphates, tous les principes minéraux des aliments que l'animal consomme, se re-

trouvent dans les excréments liquides et dans les fèces.

On peut déterminer avec facilité la quantité et la composition de ces excréments, sans avoir besoin d'en faire l'analyse. Puisqu'on donne à un cheval, par jour, 2,25 kilog. d'avoine et 7,5 kilog. de foin, et que l'avoine fournit 4 p. 100, et le foin 5 p. 100 de cendres, on peut en déduire que les excréments que le cheval rend par jour renferment 650 gram. de matières minérales provenant des champs.

L'analyse des cendres de l'avoine et du foin indique exactement à combien s'élève la proportion de silice, d'alcalis et de phosphates qui y sont contenus.

La nature des principes minéraux change nécessairement dans les excréments par le changement de nourriture.

Lorsqu'on donne à une vache des betteraves et des pommes de terre, sans foin ni paille d'orge, ses fèces ne renferment pas de silice ; mais il y aura du phosphate de chaux et de magnésie, l'urine contiendra du carbonate de potasse et de soude, ainsi que les combinaisons de ces bases avec des acides inorganiques.

Si le fourrage ou les autres aliments (pain, farine, graines de toute espèce, viande) donnent une cendre qui renferme des phosphates solubles, l'animal qu'on nourrit avec ces aliments, fournira une urine renfermant des phosphates alcalins.

Si la cendre des aliments (foin, navets, pommes de terre) ne cède point à l'eau de phosphate alcalin ; si elle ne renferme que des phosphates insolubles, l'urine sera exempte de phosphate alcalin, et les phosphates insolubles se retrouveront dans les fèces.

L'urine de l'homme, des carnivores et des granivores renferme des phosphates alcalins ; mais l'urine des herbivores est exempte de ces sels.

L'analyse des excréments de l'homme et des oiseaux piscivores, du guano, ainsi que des excréments du cheval et de la vache, fournit à cet égard des renseignements suffisants.

En portant sur les terres l'urine et les fèces de l'homme et des animaux, on y ramène donc les cendres des plantes qui leur avaient servi de nourriture. Ces cendres se composent de sels solubles et de sels insolubles qui, indispensables au développement des plantes cultivées, doivent être fournis par le sol.

On rétablit, par conséquent, l'équilibre primitif en répandant ces excréments sur le sol ; on communique alors à celui-ci la faculté d'offrir une nouvelle récolte d'aliments.

Maintenant que nous savons que les principes minéraux des aliments passent dans l'urine et dans les fèces de l'animal qui s'en nourrit, il est aisé d'établir la valeur des différents engrais.

Les excréments, liquides et solides d'un animal, ont la plus haute valeur, comme engrais, pour les plantes qui ont servi de nourriture à cet animal.

La fiente des porcs, nourris avec des pois et des pommes de terre, convient plus particulièrement pour fumer les pois et les pommes de terre.

Les vaches nourries avec du foin et des betteraves, donnent des excréments renfermant tous les principes minéraux des graminées et des betteraves.

La fiente de pigeon contient les substances minérales

des grains; celle de lapin renferme les principes fournis par le sol aux plantes herbacées et aux légumes.

L'urine et les fèces de l'homme contiennent en grande quantité les principes minéraux de toutes les graines.

VINGT-SIXIÈME LETTRE.

Source du carbone et de l'azote dans les plantes.—Le rendement en carbone, des forêts et des prairies, qui ne reçoivent que des substances minérales, prouve que le carbone provient de l'atmosphère.—Rapports entre les principes du sol, le carbone et l'azote.—Action de l'acide carbonique et de l'ammoniaque contenus dans le fumier.—Nécessité des substances minérales dans la production des principes du sang.—Nécessité des recherches analytiques dans l'intérêt des progrès de l'agriculture.

Maintenant que vous êtes familiarisé avec mes opinions sur l'emploi et sur les effets des différents fumiers, vous saisirez avec la plus grande facilité, les indications que je vous dois encore sur les sources d'où le règne végétal puise le carbone et l'azote.

Les expériences qu'on a faites dans la culture des forêts et des prairies, prouvent que l'atmosphère renferme une proportion inépuisable d'acide carbonique. Sur des surfaces égales d'un terrain qui renferme les principes minéraux indispensables à la végétation, et qui ne reçoit point d'engrais carboné, on récolte, sous forme de bois ou de fourrage, une quantité de carbone égale et souvent supérieure à celle que la terre cultivée produit en paille, en grains et en racines.

La terre cultivée reçoit évidemment par l'atmosphère autant d'acide carbonique qu'une même surface de fo-

rêt ou de prairie; le carbone de cet acide est assimilé par les plantes cultivées, si le sol offre les autres conditions nécessaires.

Si le sol manque d'eau à certaines époques de l'année, il devient souvent entièrement stérile pour les plantes, malgré toute l'affluence des principes nutritifs, car les semences ne germent et ne se développent point sans une certaine quantité d'humidité.

Au premier abord, l'effet de la pluie paraît bien plus singulier et plus surprenant que celui du fumier; son influence sur les récoltes devient très-sensible au bout de quelque temps, et cependant les végétaux ne reçoivent par elle que de très-faibles quantités d'acide carbonique et d'ammoniaque.

Sans doute, les éléments de l'eau prennent une part directe au développement des plantes; mais d'un autre côté l'eau agit aussi comme intermédiaire de la vie organique.

C'est par elle que les plantes tirent du sol les alcalis, les terres et les phosphates nécessaires à la formation des organes; si ces substances ne peuvent leur être offertes en proportion convenable, les plantes sont retardées dans leur accroissement. Sur un terrain pauvre en principes minéraux, les plantes cultivées ne prospèrent point, lors même que l'eau leur est offerte en abondance.

Le rapport en carbone d'une prairie ou d'une même surface de forêt ne dépend pas de la présence d'un engrais carboné, mais il est subordonné à celle de certains principes minéraux qui ne renferment point de carbone, ainsi qu'aux circonstances qui déterminent l'absorption de ces principes par l'organisation végétale.

On peut augmenter le rapport des terres en y répandant de la chaux, de la cendre ou de la marne, c'est-à-dire des substances qui ne peuvent point céder de carbone aux plantes. En approvisionnant le sol de ces substances, on détermine dans les plantes cultivées l'augmentation de leur masse, l'accroissement de leur carbone.

La stérilité des terres n'est donc pas la conséquence du manque d'acide carbonique ou d'humus, puisqu'on peut augmenter le rendement du carbone par des substances qui n'en contiennent pas. L'objet principal de l'agriculture consiste dans l'emploi judicieux des moyens propres à fixer sur les végétaux cet acide carbonique si répandu dans l'atmosphère; c'est par les principes minéraux du sol que les plantes sont mises à même de s'approprier cet acide; si ces principes leur manquent, le rendement des terres ne saurait augmenter malgré toute l'affluence de l'acide carbonique ou des substances putrescentes.

La proportion d'acide carbonique qui, dans un temps donné, peut pénétrer dans une plante, dépend de la quantité d'acide carbonique qui arrive en contact avec les organes d'absorption. Comme la fixation de cet acide a lieu par les feuilles, on peut dire que l'absorption de l'acide carbonique est en raison directe de la surface des feuilles et de la quantité d'acide carbonique renfermée dans l'air.

Deux plantes de la même espèce, et offrant une même surface dans leurs feuilles, fixeront dans le même temps, toutes choses étant égales d'ailleurs, la même proportion de carbone.

Dans une atmosphère renfermant deux fois plus d'a-

cide carbonique, ces plantes absorberont, dans les mêmes circonstances, une quantité double d'acide carbonique (1).

Une plante, dont la surface des feuilles n'est que la moitié de celle d'une autre plante, absorbera dans le même temps autant de carbone que celle-ci, si on lui offre une quantité double d'acide carbonique.

Voilà ce qui explique l'influence favorable de l'humus et de toutes les matières organiques en pourriture.

Si la jeune plante n'est alimentée que par l'air, elle n'absorbera qu'une quantité de carbone équivalente à la surface de ses feuilles ; mais, si les racines viennent lui offrir dans le même intervalle, par l'effet de l'humus, trois fois plus d'acide carbonique, il est évident que cette plante s'accroîtra du quadruple, toutes les conditions nécessaires à l'assimilation étant réunies. Il se formera alors quatre fois plus de feuilles, de bourgeons et de tiges, et de cette manière le végétal augmentera ses surfaces d'absorption qui se maintiendront en activité à une époque où il ne recevra plus de carbone par les racines.

L'humus offre non-seulement aux plantes cultivées une source d'acide carbonique, mais, en augmentant la masse végétale, il leur procure en même temps l'espace nécessaire pour mettre en réserve les principes nécessaires au développement de nouvelles feuilles ou tiges.

(1) M. Boussingault a vu des feuilles de vigne, renfermées dans un ballon, enlever tout l'acide carbonique à l'air qu'on y fit passer, quelque fort que fût le courant (Dumas, *Leçon sur la statique*, etc., p. 23).

Il transpire continuellement de l'eau à la surface d'une jeune plante. La quantité de cette eau dépend de la température ainsi que de l'étendue de la surface. Semblables à des pompes aspirantes, les radicelles remplacent l'eau évaporée, et tant que le terrain est humide ou pénétré d'eau, elles amènent donc à l'organisation végétale les principes minéraux dissous dans l'eau.

L'évaporation de l'eau est naturellement deux fois plus forte dans une plante dont les feuilles ont deux fois plus d'étendue que celles d'une autre.

Les sels et les autres substances minérales que l'eau avait introduits dans la plante, y restent en même temps que l'eau elle-même s'échappe de nouveau à l'état de vapeur.

Ainsi donc une plante dont les feuilles ont une surface double, reçoit une proportion de substances minérales deux fois plus forte qu'une autre placée dans les mêmes conditions d'humidité et dans le même terrain, mais dont les feuilles n'auraient en étendue que la moitié de celles de la première plante.

Le développement de la seconde peut donc s'arrêter, tandis que la première continue de s'accroître, en recevant en plus forte dose les substances minérales qui concourent à l'assimilation des principes atmosphériques.

Dans l'une et l'autre plante, il ne peut naturellement se former qu'une quantité de graines correspondant aux substances minérales présentes. Celle qui renferme plus de phosphates ou de sels terreux, produira aussi plus de graines que la plante qui, dans le même temps, en avait absorbé une moindre proportion.

Dans les étés chauds, lorsque le manque d'humidité intercepte l'affluence des principes minéraux, on voit en effet que la vigueur des plantes et le développement des graines sont en raison directe de la proportion des substances minérales absorbées par elles dans la période qui précède leur croissance.

Une seule et même terre fournit, dans différentes années, des récoltes fort inégales de grain et de paille. Tantôt le rapport de la paille est de moitié plus fort, tandis que celui du grain est le même, tantôt la paille est la même, et le grain deux fois plus fort.

Si l'on récolte sur la même surface deux fois plus de grains, on enlève par là aussi une quantité correspondante de principes du sol ; de même, on enlève par une récolte double de paille, une quantité double de substances minérales.

La première année, le blé atteint 1 mètre et fournit par arpent 600 kilog. de grain ; l'année suivante, il devient plus haut de quelques décimètres, mais ne donne que 400 kilog. de grain.

Ces rapports si différents correspondent, dans toutes les circonstances, à une absorption différente des principes minéraux nécessaires à la formation du grain et de la paille.

La paille renferme et exige des phosphates, aussi bien que le grain, seulement en proportion bien moindre. Lorsque, par un printemps humide, l'affluence des phosphates ne s'effectue pas dans le même rapport que celle des alcalis, de la silice et des sulfates, il se forme plus de paille et moins de grain; c'est qu'alors une certaine quantité de phosphate qui, dans d'autres conditions, auraient servi à former du grain, est employée

à produire des feuilles et des tiges; le grain ne se développe pas d'une manière complète, si les phosphates ne sont pas offerts en abondance. On peut même, par l'exclusion de ces sels, provoquer le cas où la plante atteint une hauteur d'un mètre et fleurit sans porter de grain. Sur un terrain gras, riche en principes nécessaires à la paille, on récolte, après un printemps humide, moins de grain que sur un terrain maigre, puisque dans ce dernier l'affluence des substances minérales est dans le même temps plus forte et s'établit à un degré qui convient au développement de toutes les parties végétales.

Lorsque les plantes cultivées se trouvent placées dans toutes les conditions nécessaires à l'assimilation des aliments atmosphériques, l'effet de l'humus sur elles consiste dans une accélération de leur développement; il fat gagner du temps. L'humus augmente toujours le rendement du carbone, lequel, si les conditions indispensables à la formation d'autres combinaisons viennent à manquer, prend la forme de la fécule, du sucre, de la gomme, ou en général des matières qui ne renferment pas de principes minéraux.

En agriculture, le temps doit toujours être porté en compte, et sous ce rapport il faut le dire, l'humus est d'une importance toute particulière pour la culture des légumes.

Les céréales et les plantes dont on mange les racines, trouvent dans les débris de la génération précédente assez de substances putrescentes, assez d'acide carbonique pour se développer rapidement au printemps, à l'aide des substances minérales qu'elles trouvent dans le sol. Toute affluence de l'acide carbonique qui ne se-

rait pas en même temps accompagnée d'une nouvelle provision de principes minéraux, est absolument sans utilité.

D'après l'indication des agronomes les plus dignes de foi, on gagne, sur un arpent de prairie d'un bon rapport, 1250 kilog. de foin. Les prairies donnent cette récolte sans qu'on y porte des substances organiques, sans qu'on y répande un engrais carboné ou azoté. On peut doubler ce rapport par des irrigations convenables, par l'emploi des cendres ou du plâtre. Mais admettons que ces 1250 kilog. soient le maximum de rendement : tout le carbone et tout l'azote de ce foin proviennent évidemment de l'atmosphère. Suivant M. Boussingault, le foin séché à 100° renferme 45,8 p. 100 de carbone (ce nombre s'accorde avec celui qui a été obtenu dans mon laboratoire) et 1,5 p. 100 d'azote; le foin séché à l'air renferme en outre 14 p. 100 d'eau qui se dégage à 108°.

1250 kilog. de foin séché à l'air correspondent, d'après cela, à 1075 kilog. de foin séché à 100°. En même temps que les 452 kilog. de carbone contenus dans ce foin, on a donc récolté sur la prairie 161 kilog. d'azote.

Si l'on admet que cet azote a été fixé par la plante sous forme d'ammoniaque, il est évident que pour 1820 kilog. d'acide carbonique (à 2,7 p. 100 de carbone), l'air renferme au moins 19,5 kilog. d'ammoniaque (à 82 p. 100 d'azote); ou bien, pour 1000 kilog. d'acide carbonique, l'air renferme 10,7 kilog. d'ammoniaque, ce qui est environ $^1/_{100000}$ du poids de l'air ou $^1/_{600000}$ de son volume.

Ainsi, pour 100 p. d'acide carbonique qui sont ab-

sorbées par la surface des feuilles, les plantes des prairies reçoivent de l'air un peu plus d'une partie d'ammoniaque.

En calculant la quantité d'azote que fournissent les différentes plantes cultivées sur des surfaces de terrain égales, on obtient les relations suivantes :

On récolte pour 1000 kilog. de carbone,	
Sur une prairie........................	32 kil. d'azote.
Sur les terres cultivées de froment......	21,5
d'avoine..............	22,3
de seigle..............	15,2
de pommes de terre....	34,1
de betterave..........	39,1
de trèfle..............	44
de pois...............	62

Ces faits conduisent à plusieurs conséquences fort importantes pour l'agriculture.

On observe, en effet, que les quantités relatives d'azote et de carbone absorbées par les plantes sont dans un rapport défini avec la surface des feuilles.

1° Les plantes où l'azote se concentre pour ainsi dire dans les graines, les céréales, par exemple, fournissent en somme moins d'azote que les légumineuses, les pois et le trèfle ;

2° Le rapport en azote d'une prairie qui ne reçoit pas d'engrais azoté, est bien plus considérable que celui d'un champ de blé qui a été fumé ;

3° Le rapport en azote du trèfle et des pois est bien plus grand que celui d'un champ de pommes de terre ou de betteraves qui a été beaucoup fumé.

M. Boussingault a récolté dans sa propriété de Be-

chelbronn, en Alsace, en cinq ans, sous forme de pommes de terre, de froment, de trèfle, de navets et d'avoine,

	8,383 carbone	et	250,7 azote.
Dans les 5 années suivantes (1)	8,192	——	284,2
Dans une troisième rotation de 6 ans (2)......................	10,949	——	353,6
En 16 ans....................	27,424 carbone	et	858,5 azote,

c'est-à-dire, en somme, pour 1000 carbone, 31,3 azote.

On tire de là cette conséquence importante que si l'on avait, sur la même terre trois fois richement fumée, cultivé pêle-mêle des pommes de terre, du froment, des navets, des pois, du trèfle (plantes qui renferment de la potasse, de la chaux et de la silice), on aurait, dans l'espace de 16 ans, récolté, pour une quantité donnée de carbone, la même proportion d'azote que sur une prairie n'ayant point reçu d'engrais. En effet, sur un arpent de prairie, on récolte en plantes à silice, à potasse et à chaux,

	984 carbone	et	32,2 azote.
Et sur un arpent de terre cultivée, moyenne de 16 ans..................	857	——	26,8

Si, dans ces évaluations, on fait intervenir le carbone et l'azote des fanes de pommes de terre et de betteraves qu'on a négligées dans l'appréciation du rapport

(1) Betteraves, froment, trèfle, froment, navets dérobés, avoine, seigle.

(2) Pommes de terre, froment, trèfle, froment, navets dérobés, pois, seigle.

de la terre cultivée, on remarque que celle-ci, malgré l'affluence du fumier azoté et carboné, n'a guère produit plus de carbone et d'azote qu'une même étendue de prairie, à laquelle *on n'a offert que des substances alimentaires minérales* (les principes du sol).

En quoi consiste donc alors le véritable effet du fumier, c'est-à-dire des excréments liquides et solides des animaux ?

Il est clair que, depuis des siècles, on enlève à nos terres cultivées une certaine quantité de principes minéraux qui sont exportés comme céréales ou comme bestiaux.

Le fumier animal exerce une action très-prononcée sur ces terres. Si on ne les avait pas fumées pendant les seize ans, on n'y aurait récolté que la moitié ou le tiers du carbone ou de l'azote.

Mais, malgré toute l'influence du fumier, ces terres, dans la sixième année où elles ont été fumées, ne sont pas devenues plus riches en substances alimentaires minérales, qu'elles ne l'avaient été dans la première année; deux ans après avoir été fumées, elles en contenaient moins qu'un an plus tôt, et cinq ans après elles étaient tellement épuisées, qu'il a fallu, pour obtenir une récolte aussi abondante que dans la première année, ramener au sol autant de substances minérales qu'on en avait enlevé dans les cinq années précédentes. Cette restitution s'est évidemment faite par le fumier.

En répandant du fumier sur ces terres, on les empêche donc de s'appauvrir plus que le sol d'une prairie fournissant 1250 kil. de foin. Par le fourrage, les prairies perdent tous les ans autant de substances minérales que les terres cultivées par les céréales; et il est

certain que la fertilité des prairies dépend de la restitution de ces substances, tout comme la fertilité des terres cultivées est subordonnée au fumier. Deux prairies de la même étendue, mais contenant des quantités inégales de substances alimentaires minérales, n'ont pas la même fertilité, toutes choses étant égales d'ailleurs ; celle qui en contient le plus fournira, dans le même temps, plus de foin que l'autre. Si l'on ne remplace pas les principes enlevés de la prairie, sa fertilité diminue nécessairement.

La fertilité se maintient au contraire, non-seulement par les excréments animaux, liquides ou solides, qu'on y répand, mais encore par les substances minérales que les plantes ligneuses ou d'autres végétaux donnent par l'incinération.

On peut donc, à l'aide des *cendres,* rétablir la fertilité de nos prairies. Or, les cendres constituent précisément les substances nutritives que le sol offre aux végétaux. En les répandant sur les prairies, on communique aux plantes qui y croissent la faculté de condenser à leur surface du carbone et de l'azote.

D'après cela, ne faut-il pas interpréter de la même manière l'effet des excréments animaux, liquides et solides, *qui ne sont autre chose que les cendres des plantes brûlées dans l'organisation animale?*

Les conditions physiques restant les mêmes, la fertilité ne serait-elle pas entièrement indépendante de l'affluence de l'ammoniaque? Si l'on se bornait à répandre sur les terres les sels de l'urine et la cendre des excréments solides, les graminées et les légumineuses ne puiseraient-elles pas le carbone et l'azote à la même source que les plantes de nos prairies?

Il ne peut plus, ce me semble, régner aucun doute sur cette question.

En Virginie, on a récolté par arpent, sur une seule et même terre, sous forme de blé, en minimum 11 kil. d'azote, ce qui fait dans cent ans 1100 kil. Pour que cet azote provînt de la terre, il aurait fallu que chaque arpent reçût plusieurs 100000 kil. d'excréments animaux ?

J'ai déjà, dans une de mes précédentes lettres, signalé cette circonstance, que depuis des siècles on fait en Hongrie, sur une seule et même terre, des récoltes de tabac et de blé, sans y porter d'azote. Comment alors l'azote de ces récoltes proviendrait-il du sol ?

Tous les ans, les hêtres, les châtaigniers, les chênes se couvrent de feuilles ; les feuilles, la sève, les glands, les châtaignes, les faînes, les noix de coco, les pommes de pin, etc., sont riches en azote. Cet élément ne provient pas du sol ; la main de l'homme ne l'offre pas aux plantes sauvages.

Sur un arpent planté de mûriers, nous récoltons, sous forme de vers à soie, l'azote des feuilles dont ces vers ont été nourris ; ils nous en rendent une partie sous forme de soie, contenant plus de 17 p. 100 d'azote, et cette récolte se renouvelle tous les ans, sans que nous portions sur le sol un fumier azoté.

D'après les faits que je viens d'indiquer, il est donc évident que cet azote ne peut être fourni que par l'atmosphère. Quelle que soit la forme sous laquelle il s'y trouve contenu, et celle sous laquelle les plantes l'absorbent, il est incontestable que l'azote des plantes sauvages tire son origine de l'air.

Les plantes cultivées, dans les terres de Virginie ou de Hongrie, ne puiseraient-elles pas leur azote à la même source que les plantes sauvages?

La présence de l'azote dans le fumier serait-elle sans effet, ou ne produirait-elle pas plutôt dans nos terres une quantité équivalente de principes sanguifiables?

Ces questions peuvent se résoudre d'une manière décisive par les expériences (1) de M. Boussingault, qui, sous ce rapport, ont d'autant plus de prix qu'elles ont été exécutées dans une toute autre direction.

En supposant que le fumier qu'il a porté sur les terres ait présenté le même état où il a été analysé (après dessiccation à 110° dans le vide), on trouve que ces terres auraient reçu par lui, dans seize ans, 650 kil. d'azote.

Mais ce fumier ne leur a pas été donné à l'état sec; elles l'ont reçu entièrement imprégné d'eau, et l'on sait que tout l'azote contenu dans les excréments animaux, sous forme de carbonate d'ammoniaque, se dégage par la dessiccation. On n'a pas porté en compte dans ces 650 kil. l'azote qui s'était transformé en carbonate d'ammoniaque par la putréfaction de l'urine. Admettons que cet azote ne soit que la moitié de la

(1) M. Liebig devrait ici rappeler au moins en quoi consistent les expériences de M. Boussingault. Cette lettre est d'ailleurs la reproduction textuelle du chapitre intitulé : *Coup d'œil rétrospectif*, p. 274, dans le volume publié par M. Liebig, sous le nom de *Chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture;* le détail des expériences de M. Boussingault s'y trouve rapporté.

Au reste, toutes les lettres de M. Liebig, à partir de la 17e, ne sont que la reproduction littérale des principaux chapitres, déjà publiés par lui, comme *Introduction* à sa Chimie, ainsi que dans ses deux volumes de *Chimie appliquée à la physiologie.* C. G.

quantité contenue dans les excréments desséchés, et nous aurons 975 kil. d'azote portés sur les terres en seize ans.

Mais, dans ces seize ans, on n'y a récolté en grains, paille et racines, que 758,5 kil., c'est-à-dire bien moins qu'on n'y avait porté par le fumier. C'est ce qui a fait admettre à M. Boussingault cette conclusion erronée, que les légumineuses auraient seules le pouvoir de condenser l'azote de l'air, tandis qu'il faudrait offrir un fumier azoté aux graminées et aux plantes dont nous mangeons les racines. Et cependant une même surface de bonne prairie, ne recevant pas d'azote, a produit par hectare 1050 kilog. de cet élément!

Tout le monde sait qu'en Égypte, où le bois est si rare, les excréments desséchés des animaux forment le principal combustible. Pendant longtemps l'Europe recevait, sous forme de sel ammoniac, l'azote contenu dans la suie provenant de cette combustion, jusqu'à ce qu'enfin Gravenhorst, dans la dernière moitié du siècle passé, découvrît à Brunswick la fabrication du sel ammoniac.

Les terres de la vallée du Nil ne reçoivent aucun engrais animal autre que les cendres de ces excréments, et cependant leur fertilité, qui remonte aux temps les plus reculés, est encore aussi admirable qu'elle l'avait été jadis. La vase qui recouvre ces terres, après le débordement du fleuve, leur offre depuis des siècles un sol où se trouvent les substances minérales enlevées par les récoltes; elle contient aussi peu d'azote que le limon des Alpes suisses par lequel nos terres sont fertilisées lors des inondations du Rhin.

En effet, si l'azote en était l'agent efficace, quelles

immenses couches de substances animales ou végétales azotées devrait-il y avoir dans les montagnes de l'Afrique, à des hauteurs qui dépassent la limite des neiges, et où, faute de végétation, aucun animal ne trouve plus de quoi se nourrir !

On sait que le fromage provient des plantes qui servent de nourriture aux vaches. Les plantes des prairies de la Hollande tirent cet azote de la même source que les nôtres : elles le puisent dans l'air, En Hollande, les vaches laitières restent jour et nuit dans les pâturages, de sorte que tous les sels renfermés dans le fourrage demeurent sur les terres à l'état d'urine ou d'excréments solides ; on n'en exporte donc par le fromage qu'une quantité comparativement bien faible.

Aussi l'état de fertilité de ces prairies change-t-il tout aussi peu que celui de nos terres, où l'on restitue par le fumier la plus grande partie des substances minérales enlevées au sol par les récoltes.

Dans les pâturages de la Hollande, ces substances restent donc sur le sol ; dans nos économies, nous les recueillons à part pour les ramener de temps à autre sur les terres.

L'azote de l'urine et des excréments solides des vaches provient des plantes qui croissent dans les prairies ; ces plantes l'avaient elles-mêmes puisé dans l'atmosphère. C'est encore de la même source que vient l'azote de tout le fromage de Hollande, de Suisse et d'autres lieux.

Depuis des siècles, les pâturages hollandais ont produit du fromage par millions de quintaux ; tous les ans, on en exporte des quantités prodigieuses, sans porter préjudice au rendement des prairies, bien

qu'elles ne pussent jamais recevoir plus d'azote qu'elles n'en contiennent déjà.

Il est bien certain, d'après cela, que le rapport de nos terres en azote n'augmente pas en raison de la quantité d'azote qui leur est offerte par les engrais; que les terres ne s'épuisent point par l'exportation des produits azotés, parce que ce n'est pas le sol, mais l'atmosphère qui fournit l'azote aux végétaux; que la fertilité du sol ne s'accroit pas si l'on y répand simplement un engrais azoté, par exemple, des sels ammoniacaux : et enfin que le rendement des terres s'accroît ou diminue suivant la proportion des substances minérales qui y arrivent par les engrais.

La formation, dans les plantes cultivées, des substances azotées destinées à se transformer en sang est subordonnée à la présence de certaines matières contenues dans le sol. Si celles-ci viennent à y manquer, il ne s'assimile pas d'azote malgré toute l'affluence de l'ammoniaque.

L'ammoniaque contenue dans les excréments animaux ne favorise donc la végétation que parce qu'elle y est accompagnée d'autres substances nécessaires à sa transformation en principes sanguifiables.

Elle n'est donc assimilée que si l'on offre en même temps ces autres substances aux terres. Dans le cas où l'ammoniaque vient à manquer, les végétaux puisent l'azote dans l'air, qui forme le réservoir de toutes les combinaisons azotées provenant de la putréfaction des matières animales et végétales.

L'ammoniaque favorise et accélère la croissance des plantes dans les terrains qui offrent une réunion complète de toutes les conditions nécessaires à son as-

similation ; mais elle est entièrement sans effet sur la production des principes sanguifiables, dans les cas où ces conditions sont exclues.

On peut concevoir comme ayant lieu sans le concours des principes du sol la formation de l'asparagine, principe actif des asperges et de la guimauve, ou des principes azotés et sulfurés contenus dans la graine de moutarde et dans d'autres crucifères; mais lors même que les parties organiques du sang pourraient se former dans les végétaux sans l'aide des substances minérales (potasse, soude, phosphate), ces parties seraient néanmoins sans utilité pour les animaux qui vivent aux frais de la végétation; car sans alcalis ou sans phosphates, il ne se formerait ni sang, ni lait, ni os, ni fibre musculaire.

Par l'urine, par le guano, et en général par les excréments des animaux, on offre aux plantes non-seulement de l'ammoniaque, c'est-à-dire de l'azote, mais en même temps aussi toutes les substances minérales, exactement dans le rapport contenu dans les plantes qui avaient servi de nourriture aux animaux, ou, ce qui revient au même, dans le rapport qui convient à une nouvelle génération végétale.

On peut donc dire, d'après ce qui précède, que l'effet de l'ammoniaque offerte aux plantes comme source d'azote, par des moyens artificiels, se borne, comme celui de l'humus, source d'acide carbonique, à hâter dans un temps donné le développement des plantes cultivées. En les portant sur les terres à l'état d'excréments, on augmente la proportion des principes sanguifiables, mais cet effet n'est pas déterminé exclusivement par le carbonate ou le sulfate d'ammoniaque.

Nous le répétons, afin d'éviter tout malentendu, les considérations précédentes ne se trouvent nullement en désaccord avec les effets de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux offerts aux plantes par des moyens artificiels. L'ammoniaque est toujours l'unique source de l'azote; son affluence n'est jamais préjudiciable, elle est toujours utile et même indispensable pour certains buts; mais que l'agriculteur sache aussi que, pour la plupart des plantes cultivées, il est entièrement superflu de leur offrir de l'ammoniaque, l'efficacité des engrais n'étant jamais proportionnée à leur teneur en azote; il ne faut pas, comme c'est l'usage en France et en Allemagne, apprécier la valeur des engrais, d'après la proportion de l'azote qu'ils renferment.

En analysant d'une manière précise les cendres fournies par les plantes cultivées dans des terrains différents, on arrive à connaître les substances minérales qui y varient et celles qui y sont indispensables. C'est ainsi qu'on découvre la source des substances minérales enlevées au sol par les récoltes, et alors l'agriculteur pourra, comme dans une manufacture bien organisée, tenir des livres pour y inscrire, suivant les récoltes, la nature et la quantité exacte des substances qu'il doit porter sur chacune de ses terres pour en maintenir la fertilité.

Ce genre de recherches est un besoin de notre époque; dans peu d'années, les efforts réunis des chimistes et des agriculteurs de tous les pays conduiront à la solution de ces importantes questions, et procureront à l'art agricole une base rationnelle et inébranlable.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE.





